

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO  
BASADO EN LA CONFIABILIDAD DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN  
EN LA EMPRESA GEMAR GROUP E. I. R. L. PARA DISMINUIR SUS  
UTILIDADES NO PERCIBIDAS**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**KAROLL ANABELL GUEVARA MONDRAGON**

**ASESOR**

**CARLOS ALEXIS ALVARADO SILVA**

<https://orcid.org/0000-0002-3588-8869>

**Chiclayo, 2020**

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO BASADO EN LA CONFIABILIDAD DE LA  
LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA GEMAR GROUP  
E. I. R. L. PARA DISMINUIR SUS UTILIDADES NO  
PERCIBIDAS**

PRESENTADA POR:

**KAROLL ANABELL GUEVARA MONDRAGON**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR:

Alejandro Segundo Vera Lazaro  
PRESIDENTE

Danny Adolfo Bustamante Sigueñas  
SECRETARIO

Carlos Alexis Alvarado Silva  
VOCAL

### **DEDICATORIA**

A Dios, por siempre estar presente en mi vida y guiarme por el buen camino.

A mis abuelos, Carlos Mondragón Cubas y Carmen Aros de Mondragón, por darme su apoyo incondicional, cariño, confianza y motivación para seguir adelante en formación como profesional.

A mi madre, Flor de María Mondragón Aros, por darme ánimos, fortaleza, cariño y velar siempre por mí bienestar y desarrollo en mi formación como profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por permitirme haber llegado hasta etapa de mi vida y guiarme por el buen camino.

A mis abuelos y a mi madre, por darme su apoyo incondicional, cariño, confianza, motivación y fortaleza para seguir adelante en mi formación como profesional.

A mis amigos, por darme ánimos en mi etapa universitaria y estar aconsejándome en todo momento.

A mi asesor, Mgtr. Ing. Carlos Alvarado, por brindarme su apoyo, orientación y paciencia en el desarrollo de esta investigación.

A la empresa Germar Group E. I. R. L., por brindarme toda la información necesaria para el desarrollo de esta investigación.

## ÍNDICE

Resumen .....	14
Abstract .....	15
I. INTRODUCCIÓN .....	16
II. MARCO TEÓRICO .....	18
2.1 Antecedentes .....	18
2.2 Bases Teórico Científicas .....	21
2.2.1 Sal .....	21
2.2.2 Mantenimiento .....	22
2.2.2.1 Tipos de mantenimiento .....	22
2.2.2.2 Diferencia entre falla y avería .....	23
2.2.3 Indicadores de Mantenimiento .....	23
2.2.5 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) .....	26
2.2.5.1 Metodología para la implantación de RCM .....	26
2.2.5.2 Herramientas claves de la metodología RCM .....	26
a) Código de máquinas .....	26
b) Análisis de criticidad .....	26
c) Diagrama de Pareto .....	28
d) Análisis de Weibull .....	29
e) Análisis del árbol de fallas .....	30
f) Análisis de los modos y efectos de los fallos (AMEF) .....	32
g) Hoja de decisiones del RCM ( Reliability Centred Maintenance) .....	35
III. RESULTADOS .....	38
3.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA GEMAR GROUP E. I. R. L. ....	38
3.1.1 La empresa .....	38
3.1.2 Estructura organizacional de la empresa .....	39
3.1.3 Producto .....	40

3.1.4	Proceso Productivo.....	42
3.1.4.1	Materiales .....	42
3.1.4.2	Diagrama de procesos.....	46
3.1.5	Situación actual de mantenimiento en Gemar Group E. I. R. L.....	48
3.1.5.1	Equipos y herramientas para realizar mantenimiento.....	48
3.1.5.2	Condición actual de las máquinas .....	49
3.1.6	Análisis del contexto operacional .....	50
3.1.8	Costo de mantenimiento.....	62
3.1.9	Indicadores de mantenimiento .....	62
3.1.10	Impacto económico actual.....	67
3.1.10.1	Utilidades brutas percibidas.....	68
3.1.10.2	Utilidades no percibidas .....	69
3.1.11	Resumen de indicadores.....	71
3.1.12	Diagrama de Ishikawa.....	72
3.2.	PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN LA CONFIABILIDAD DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN .....	73
3.2.1	Codificación de máquinas y equipos.....	73
3.2.2	Determinación del análisis de criticidad de las máquinas y equipos .....	74
3.2.3	Diagrama de Pareto .....	76
3.2.4	Análisis de Weibull .....	77
3.2.5	Codificación de componentes de máquinas críticas.....	88
3.2.6	Árbol de fallas .....	90
3.2.7	Análisis de modo y efecto de los fallos (AMEF) .....	96
3.2.8	Hoja de decisión del RCM .....	103
3.2.8	Plan de Mantenimiento.....	109
3.2.9	Cronograma de Mantenimiento.....	110
3.2.10	Procedimientos de mantenimiento .....	121

3.2.11	Capacitación de personal.....	121
3.2.12	Tiempo total de mantenimiento preventivo programado .....	122
3.2.13	Nuevos indicadores de mantenimiento después de la mejora .....	127
3.2.14	Impacto económico después de la mejora.....	130
3.2.15	Comparación de indicadores después de la propuesta .....	132
3.3	COSTO BENEFICIO .....	133
3.3.1	Determinación de costos de herramientas, materiales y repuestos .....	133
3.3.2	Costo de mano de obra .....	136
3.3.3	Costo de capacitaciones .....	136
3.3.4	Costo de materiales de oficina .....	136
3.3.5	Inversión total de la propuesta .....	137
3.2.6	Beneficios monetarios después de la propuesta .....	137
3.2.6.1	Beneficios en utilidades a percibir por reducción de paradas .....	138
3.2.6.2	Beneficios en utilidades por reducción de productos defectuosos .....	139
3.3.6	Beneficios monetarios totales después de la propuesta.....	139
3.3.7	Flujo de caja económico.....	140
3.4.	Evaluación de impacto .....	142
3.4.1	Ambiental .....	142
3.4.2	Social.....	142
3.4.3	Económico.....	142
3.4.3	Seguridad.....	142
IV	CONCLUSIONES .....	143
V.	RECOMENDACIONES .....	144
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145
VII.	ANEXOS .....	147

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del indicador OEE .....	24
Tabla 2.Comparación de los valores de Disponibilidad de acuerdo con el tipo de proceso ....	25
Tabla 3. Factores ponderados para el análisis de criticidad .....	28
Tabla 4. Símbolos empleados en la representación del árbol de fallas .....	31
Tabla 5. Criterios para ponderación de Gravedad en AMEF .....	33
Tabla 6. Criterios para ponderación de Ocurrencia en AMEF .....	33
Tabla 7. Criterios para valoración de Detección en AMEF .....	34
Tabla 8. Clasificación de valores de NPR .....	34
Tabla 9.Hoja de decisiones de RCM .....	36
Tabla 10. Precio de sal seca de 50 kg .....	40
Tabla 11. Precio de venta de otras presentaciones .....	40
Tabla 12. Ficha técnica de sal .....	41
Tabla 13. Equipos y herramientas de mantenimiento .....	48
Tabla 14. Características técnicas de la mesa alimentadora.....	50
Tabla 15. Características técnicas de Sin fin N°1 .....	51
Tabla 16.Características técnicas de Sin fin N°2 .....	51
Tabla 17.Características técnicas de sin fin N°3 .....	52
Tabla 18. Características técnicas de la mesa impulsadora de secador.....	52
Tabla 19. Características técnicas del Secador.....	53
Tabla 20. Características técnicas se Molino chancador.....	54
Tabla 21. Características técnicas del molino refinador .....	54
Tabla 22. Características técnicas de Enfriador .....	55
Tabla 23. Características técnicas de Tamizadora .....	55
Tabla 24. Características técnicas del elevador de cangilones.....	56
Tabla 25. Motivo de las fallas del Secador .....	56
Tabla 26. Motivo de las fallas del Molino Refinador .....	57
Tabla 27. Motivo de las fallas del Molino Chancador .....	57
Tabla 28. Motivo de las fallas del Elevador de Cangilones .....	58
Tabla 29. Motivo de las fallas del Tornillo Sin Fin N°1 .....	58
Tabla 30. Motivo de las fallas del Tornillo Sin Fin N°2 .....	58
Tabla 31.Motivo de las fallas del Tornillo Sin fin N°3 .....	59
Tabla 32. Motivo de las fallas de la Tamizadora .....	59



Tabla 33. Motivo de las fallas del Enfriador .....	59
Tabla 34. Motivo de fallas de la Mesa alimentadora .....	60
Tabla 35. Motivo de fallas de la Mesa impulsadora de secador .....	60
Tabla 36. Motivo de las fallas de las cosedoras .....	60
Tabla 37. Motivo de las fallas de la balanza .....	61
Tabla 38. Resumen del número de fallas y el tiempo de paro .....	61
Tabla 39. Costo de mano de obra en el año 2019 .....	62
Tabla 40. Costos de mantenimiento de máquinas y equipos.....	62
Tabla 41. Tiempo promedio hasta el fallo de cada máquina y equipo.....	63
Tabla 42. Tiempo promedio de reparación de cada máquina y equipo.....	64
Tabla 43. Producción de sacos de sal seca de 50 kg .....	65
Tabla 44. Sacos de sal de 50 kg conformes y no conformes.....	66
Tabla 45. Costos de producción para elaboración de sal refinada .....	68
Tabla 46. Utilidad brutas percibidas en el año 2019 .....	68
Tabla 47. Utilidades no percibidas por las horas de paradas .....	69
Tabla 48. Utilidades no percibidas por productos defectuosos .....	69
Tabla 49. Utilidades no percibidas totales .....	70
Tabla 50. Resumen de indicadores.....	71
Tabla 51. Codificación de máquinas y equipos.....	74
Tabla 52. Análisis de criticidad de las máquinas y equipos de Gemar Group E. I. R. L. ....	75
Tabla 53. Análisis de Pareto de las máquinas críticas.....	76
Tabla 54. Análisis de datos del Secador.....	78
Tabla 55. Parámetros de Weibull para el Secador .....	78
Tabla 56. Tabulación de la confiabilidad y probabilidad del fallo para el Secador.....	79
Tabla 57. Análisis de datos del Molino Refinador.....	80
Tabla 58. Parámetros de Weibull para el Molino Refinador.....	80
Tabla 59. Tabulación de la confiabilidad y probabilidad del fallo para el Molino Refinador .	81
Tabla 60. Análisis de datos del Molino Chancador .....	82
Tabla 61. Parámetros de Weibull para el Molino Chancador .....	82
Tabla 62. Tabulación de la confiabilidad y probabilidad del fallo para el Molino Chancador	83
Tabla 63. Análisis de datos del Elevador de Cangilones .....	84
Tabla 64. Parámetros de Weibull para Elevador de Cangilones .....	84
Tabla 65. Tabulación de la confiabilidad y probabilidad del fallo para Elevador de Cangilones .....	85

Tabla 66. Análisis de datos del Tornillo Sin Fin N°2 .....	86
Tabla 67. Parámetros de Weibull para el Tornillo Sin Fin N°2 .....	86
Tabla 68. Tabulación de confiabilidad y probabilidad de fallo para el Tornillo Sin Fin N°2 .	87
Tabla 69. Codificación de componentes de Secador.....	88
Tabla 70. Codificación de componentes de Molino Refinador.....	89
Tabla 71. Codificación de componentes de Molino Chancador .....	89
Tabla 72. Codificación de componentes de Elevador de Cangilones .....	89
Tabla 73. Codificación de componentes de Tornillo Sin Fin N°2 .....	90
Tabla 74. Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF) del Secador .....	98
Tabla 75. Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF) del Molino Refinador .....	99
Tabla 76. Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF) del Molino Chancador .....	100
Tabla 77. Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF) del Elevador de Cangilones .....	101
Tabla 78. Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF) del Tornillo Sin Fin N°2 .....	102
Tabla 79. Hoja de decisión del Secador .....	104
Tabla 80. Hoja de decisión del Molino Refinador .....	105
Tabla 81. Hoja de decisión del Molino Chancador.....	106
Tabla 82. Hoja de decisión del Elevador de Cangilones.....	107
Tabla 83. Hoja de decisión del Tornillo Sin Fin N° 2.....	108
Tabla 84. Plan de mantenimiento para el Secador .....	111
Tabla 85. Plan de mantenimiento para Molino Refinador .....	112
Tabla 86. Plan de mantenimiento para Molino Chancador .....	113
Tabla 87. Plan de mantenimiento para Elevador de Cangilones.....	114
Tabla 88. Plan de mantenimiento para Sin Fin N°2 .....	115
Tabla 89. Cronograma de Mantenimiento para el Secador de Cilindro Rotario.....	116
Tabla 90. Cronograma de Mantenimiento para el Molino Refinador .....	117
Tabla 91. Cronograma de Mantenimiento para el Molino Chancador.....	118
Tabla 92. Cronograma de Mantenimiento para el Elevador de Cangilones.....	119
Tabla 93. Cronograma de Mantenimiento para el Tornillo Sin Fin N°2.....	120
Tabla 94. Capacitación para encargados de mantenimiento .....	121
Tabla 95. Tiempo de mantenimiento preventivo para el Secador .....	122
Tabla 96. Tiempo de mantenimiento preventivo para Elevador de Cangilones .....	123
Tabla 97. Tiempo de mantenimiento preventivo para Tornillo Sin Fin N°2 .....	124
Tabla 98. Tiempo de mantenimiento preventivo para Molino Chancador .....	125
Tabla 99. Tiempo de mantenimiento preventivo para Molino Refinador.....	126

Tabla 100. Reducción de tiempo de parada después de la propuesta .....	126
Tabla 101. Nueva producción de sacos de sal seca de 50 kg .....	128
Tabla 102. Producción de productos conformes después de la mejora.....	129
Tabla 103. Utilidad no percibida después de la mejora .....	130
Tabla 104. Comparación de nuevos indicadores de la propuesta .....	132
Tabla 105. Costo anual de herramientas generales para mantenimiento .....	133
Tabla 106. Costo anual de materiales generales para mantenimiento.....	133
Tabla 107. Costo anual de repuestos para el Secador .....	134
Tabla 108. Costo anual de repuestos para el Molino Refinador .....	134
Tabla 109. Costo anual de repuestos para el Molino Chancador .....	135
Tabla 110. Costo anual de repuestos para el Elevador de Cangilones .....	135
Tabla 111. Costo anual de repuestos para el Tornillo Sin Fin N°2.....	135
Tabla 112. Costo anual de la nueva propuesta de mano de obra de mantenimiento.....	136
Tabla 113. Materiales de oficina .....	137
Tabla 114. Inversión total de la propuesta .....	137
Tabla 115. Nueva producción de sal seca de 50 kg .....	138
Tabla 116. Utilidades percibidas por reducción de paradas .....	138
Tabla 117. Utilidades percibidas por reducción de productos defectuosos .....	139
Tabla 118. Utilidades totales después de la propuesta .....	139
Tabla 119. Tasa de Aceptación de Rendimiento Global.....	140
Tabla 120. Flujo de caja económico por meses después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo.....	141

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Sal refinada .....	21
Figura 2.Matriz de identificación de criticidad .....	27
Figura 3. Representación de la curva de la bañera .....	30
Figura 4. Estructura del árbol de fallos. ....	31
Figura 5.Diagrama de Decisiones .....	35
Figura 6.Ubicación geográfica de la empresa Gemar Group E. I. R. L. ....	38
Figura 7.Organización de la empresa .....	39
Figura 8.Sal en Gema (Halita).....	42
Figura 9.Recepción de sacos de sal .....	44
Figura 10.Almacenado de sacos de 50 kg .....	45
Figura 11. Diagrama de flujo de sacos de 50 kg .....	46
Figura 12.Diagrama de operaciones del proceso de sacos de 50kg de sal .....	47
Figura 13. Cubierta metálica de secador totalmente corroída y deteriorada .....	49
Figura 14. Desgaste de fajas.....	49
Figura 15. Guías y polines corroídos por falta de limpieza y lubricación .....	49
Figura 16. Aspas de helicoidal desoldadas.....	49
Figura 17. Acumulación de material en polín de Elevador de cangilones .....	49
Figura 18..Cosedora, selladora y balanza.....	50
Figura 19. Resumen del número de fallas y tiempo de paradas .....	61
Figura 20. Diagrama de Ishikawa de la empresa Gemar Group E. I. R. L. ....	72
Figura 21. Criticidad de Pareto en Gemar Group E. I. R. L.....	76
Figura 22. Comportamiento Weibull de las fallas del Secador.....	79
Figura 23. Comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Secador .....	80
Figura 24. Comportamiento Weibull de las fallas del Molino Refinador.....	81
Figura 25. Comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Molino Refinador .....	82
Figura 26. Comportamiento Weibull de las fallas del Molino Chancador.....	83
Figura 27.Comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Molino Chancador .....	84
Figura 28. Comportamiento Weibull de las fallas del Elevador de Cangilones .....	85

Figura 29. Comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Elevador de Cangilones .....	86
Figura 30. Comportamiento Weibull de las fallas del Tornillo Sin Fin N°2 .....	87
Figura 31. Comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Tornillo Sin Fin N°2 .....	88
Figura 32. Árbol de fallas de Secador de Cilindro Rotatorio .....	91
Figura 33. Árbol de fallas de Molino Refinador .....	92
Figura 34. Árbol de fallas de Molino Refinador .....	93
Figura 35. Árbol de fallas de Elevador de Cangilones .....	94
Figura 36. Árbol de fallos de Sin Fin N°2 .....	95

## RESUMEN

Esta investigación se centra en la empresa Gemar Group E. I. R. L., la cual tiene como producto principal la sal seca de 50 kg. Actualmente la empresa aplica un mantenimiento correctivo, registrándose 138 fallas representadas en 739,08 horas de parada del año 2019, lo que ocasionó el paro de la producción y por ende la pérdida de utilidades valorizadas en S/ 323 584,67. Por lo tanto, se tuvo como objetivo proponer un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad de la línea de producción en la empresa Gemar Group E. I. R. L. para disminuir sus utilidades no percibidas. La metodología se basó en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), rigiéndose de herramientas como el Análisis de criticidad, con la que se determinó que el Secador, Molino Refinador, Molino Chancador, Elevador de Cangilones y Tornillo Sin Fin N°2 son las máquinas de criticidad alta y requieren de medidas preventivas; otras herramientas son el diagrama de Pareto, el Análisis de Weibull, el Árbol de fallos, el AMEF y la Hoja de decisión RCM; siendo de gran importancia para realizar los planes y cronogramas de mantenimiento. Se logró disminuir el tiempo de paradas en 320,11 horas, se aumentó la disponibilidad a 83,21 %, se aumentó el total OEE a 69,25% y se redujeron las utilidades no percibidas a S/ 131 724,27. Finalmente se concluye ser un proyecto muy rentable hacia la empresa, debido a que se obtuvo un VAN de S/ 70 521,14, un TIR de S/ 18,5 %, un costo beneficio de 2,79 y un PRI de 8 meses.

**PALABRAS CLAVE:** Producción de sal, RCM, análisis de Weibull, utilidades no percibidas

## ABSTRACT

This research focuses on the company Gemar Group E. I. R. L., whose main product is 50 kg dry salt. Currently the company applies corrective maintenance, registering 138 failures represented in 739.08 hours of shutdown in 2019, which caused the stoppage of production and therefore the loss of profits valued at S / 323 584.67. Therefore, the objective was to propose a preventive maintenance plan based on the reliability of the production line in the company Gemar Group E. I. R. L. to decrease its unearned profits. The methodology was based on Reliability Centered Maintenance (RCM), using tools such as Criticality Analysis, with which it was determined that the Dryer, Refining Mill, Crusher Mill, Bucket Elevator and Endless Screw No. 2 are high criticality machines and require preventive measures; other tools are the Pareto chart, the Weibull Analysis, the Fault Tree, the FMEA and the RCM Decision Sheet; being of great importance to carry out maintenance plans and schedules. It was possible to decrease the downtime by 320.11 hours, increase availability to 83.21%, increase the total OEE to 69.25% and reduce unearned profits to S / 131 724.27. Finally, it is concluded to be a very profitable project towards the company, since a NPV of S / 70 521.14, an IRR of S / 18.5%, a cost benefit of 2.79 and an 8-month PRI were obtained.

**KEYWORDS:** Salt production, RCM, Weibull análisis, unearned profits

## I. INTRODUCCIÓN

La producción de sal es de gran importancia a nivel mundial, se considera el mineral de consumo alimenticio más antiguo y el que llega a mover grandes economías. La sal es una sustancia consistente en cloruro sódico, ordinariamente blanca, cristalina, de sabor propio, soluble en agua, que se emplea para sazonar y conservar alimentos, es muy abundante en las aguas del mar y también se encuentra en la corteza terrestre. Según estadísticas el ranking de los principales países productores de sal a nivel mundial en el año 2 019 es China, con aproximadamente 60 millones de toneladas métricas, seguido por Estados Unidos y la India [1]. Se sabe que la principal fuente de sodio en los países desarrollados son los alimentos industrializados, que aportan alrededor del 75% del consumo total de este elemento. [2]

A lo largo de toda la República del Perú, se encuentran varios yacimientos salinos, siendo los más importantes, las Salinas de Huacho (Lima), en donde se encuentra la empresa Quimpac, la cual produce y distribuye sal; la Salina de Otuma que tiene sede en Lima y Pisco, la Planta Oquendo ubicada en Lima [3]. Por otro lado, en el departamento de Lambayeque existen empresas procesadoras de sal de alta calidad como por ejemplo Brisal E. I. R. L., Sabrosita S. A. C. y Sales Peruanas E. I. R. L.; estas ofrecen al público consumidor, sal yodada; todas estas empresas interactúan en un mundo muy competitivo, el cual les exige ser dinámicas, manteniendo altos niveles de calidad y productividad, para permanecer en el mercado. [4]

La empresa de estudio es Gemar Group E. I. R. L. la cual inició sus actividades desde el año 2 016 y está dedicada al procesamiento, envasado y comercialización de sal de mesa y de cocina, ofreciendo su producto para el mercado en presentaciones de sacos de sal seca de 50 kg.

Para procesar sal seca la empresa requiere de un total de 18 máquinas, los cuales están fabricadas de acero inoxidable para resistir a la corrosión, siendo las más resaltantes el secador, el molino chancador, el molino refinador, el elevador de cangilones y el sin fin transportador. El principal problema de la empresa son las utilidades no percibidas debido a las constantes paradas ocasionadas por las fallas de las máquinas, ya que se solucionan con mantenimientos correctivos; así también, debido la falta de capacitación del personal técnico-profesional, la mala organización de las funciones laborales y a la falta de procedimientos de mantenimiento,



generando así, el paro de la producción, lo cual ocasiona la disminución de las ventas y por ende la pérdida de utilidades.

En general, la empresa cuenta con una eficiencia global de rendimiento (OEE) del 41,23 %, este porcentaje indica que sufre pérdidas ya que no está al 100% de su rendimiento; al estar en todo su volumen de producción se espera obtener 12 480 sacos/mes de sal seca de 50 kg, por consecuencia se tiene una disponibilidad del 70,39 %, una mantenibilidad de 5,36 horas fuera de servicio y un tiempo promedio entre fallas de 12,73 horas, equivalentes a 739,08 horas de paradas al año. Logrando identificar la ausencia de políticas, medidas de prevención, identificación de procesos, formatos técnicos e instructivos.

Por lo tanto, ante el problema, se ha planteado la siguiente pregunta: ¿La propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad de la línea de producción en la empresa Gemar Group E. I. R. L. disminuirá las utilidades no percibidas?

Por tal motivo este trabajo de investigación tuvo como objetivo general proponer un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad de la línea de producción en la empresa Gemar Group E. I. R. L. para disminuir sus utilidades no percibidas. Teniendo como objetivos específicos los siguientes: diagnosticar la situación actual en la línea de producción de la empresa Gemar Group E. I. R. L., elaborar una propuesta de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad de la línea de producción y determinar el costo - beneficio de la propuesta planteada.

Un plan de mantenimiento preventivo para la empresa permitirá asegurar el funcionamiento y cumplimiento de cada una de las máquinas respectivas, mantener al personal técnico-profesional capacitado y establecer procedimientos adecuados, donde se verá favorecida económicamente en la minimización de costos y tiempos muertos de las máquinas. De esta manera, se planificarán períodos para la paralización de trabajo, en la cuales se realizarán las inspecciones y el mantenimiento en las máquinas. Estas mejoras garantizarán un incremento en la producción y por ende disminuirá las utilidades no percibidas de la empresa.

## II. MARCO TEÓRICO

### *2.1 Antecedentes*

Mojicar [5], describe en su investigación los “Fundamentos para la Introducción del RCM<sup>2</sup>a la industria Azucarera”, el cual tiene como objetivo la realización de un análisis del mantenimiento centrado en la confiabilidad para las etapas de producción de las empresas azucareras en Cuba. Estas etapas contienen indicadores cualitativos y cuantitativos sensibles a las fracciones en el tiempo que se desperdician como consecuencia de los obstáculos que tienen lugar durante cada estación, debido a las fallas industriales y todo lo demás que perturba a la disponibilidad técnica industrial. Se tuvo como metodología clasificar el origen de las paradas en la industria, así como las interrupciones operativas del mantenimiento preventivo y no preventivo. Para lograr la mejora en las industrias de azúcar se realizó un análisis del mantenimiento en este sector, determinado que las causas de riesgo, el análisis de los datos históricos y paradas dadas en las máquinas en los últimos tiempos se deben por los indicadores que permiten determinar la disponibilidad de los equipos en relación con sus funciones.

Se concluye que el sistema de báscula contribuye a la indisponibilidad técnica industrial frecuente por cada estación en un 54 % y en un 51 % a la indisponibilidad de los equipos, por otro lado, se obtuvo que más del 65 % de la indisponibilidad surge por los otros sistemas como los elevadores, los cortadores de los molinos y las horquillas de bagazo. Se concluye que dichos problemas se pudieron solucionar con un análisis de fallas y por ende se logró aumentar su disponibilidad en los equipos.

Dicha investigación es de utilidad ya que aportó en el análisis de los datos históricos de las paradas de las máquinas, también sirvió para determinar sus motivos de fallas y lograr determinar la indisponibilidad de la empresa respecto a sus máquinas. Por otro lado, también se comparó con los motivos y causas de falla de los molinos y elevador de cangilones de la empresa Gemar Group ya que presenta una similitud en sus máquinas.

Maya [6], en su investigación la “Aplicación de RCM como una estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la implementación del TPM”, aplicado en una empresa de galletas, tuvo como objetivo maximizar la eficiencia de todo el sistema productivo, estableciendo un procedimiento eficiente y sin pérdidas para el rendimiento de los equipos, debido a que existía altos costos por recambio de piezas sin necesidad, pérdidas en producción por fallas de equipos

y una disponibilidad del 85%. Para el desarrollo de mejora se realizó la construcción de la matriz de criticidad operacional de los equipos, la cual partió de las premisas y apreciaciones del área de mantenimiento y se evaluó en los diversos ámbitos de seguridad en los operarios, la calidad del producto, el cuidado del ambiente, etc.; así también, con las curvas de confiabilidad del análisis Weibull, se pudo diagnosticar la vida útil y operativa de componentes o sistemas, el cual permitió encontrar un punto dentro de la curva de confiabilidad para realizar mantenimiento en el tiempo exacto, este análisis de confiabilidad sirvió de refuerzo para los indicadores del tiempo promedio de reparación (MTTR) y del tiempo promedio entre fallas (MTBF). El resultado de esta implementación logró la disminución en los costos de mantenimiento, un mayor control sobre los modos de falla, el incremento de la disponibilidad superior al 90% y la disminución en averías reincidentes.

Dicha investigación es de utilidad ya que aportó en los criterios a seleccionar la metodología adecuada, ya que sugiere que es necesario implementar como base el RCM para cualquier otro tipo de metodología más avanzada; también sirvió de guía para realizar el análisis de la eficiencia global de los equipos (OEE) y lograr aumentar el rendimiento de la producción, también sirvió de guía para el análisis de Weibull ya que permitió saber en qué etapa de su ciclo de vida se encontraban las máquinas y si era oportuno realizar un plan de mantenimiento preventivo, finalmente con dicha metodología se logró incrementar la disponibilidad de la empresa Gemar Group.

Vallejo [7], en su investigación “Propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la maquinaria de una empresa cafetalera”, tuvo como objetivo la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de las máquinas críticas (despulpadora, hidrolavadora, secadora, morteadora y tostadora) para disminuir los riesgos y aumentar la disponibilidad que afectaron los paros no programados causados por las fallas en la maquinaria. Se utilizó como metodología el diagrama de árbol de fallos para identificar las fallas en la maquinaria que presentan paros no programados, se analizó la criticidad de las máquinas y sus modos de falla (AMEF), y se determinó el tiempo promedio entre fallas para establecer periodos de mantenimiento. El resultado fue que la secadora presentó un tiempo promedio entre fallas de 88 horas y la despulpadora de 55,4 horas, por lo que se elaboró posteriormente un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, reduciendo así el tiempo de mantenimiento en un 38,20 % y el tiempo promedio de reparación en un 92,13

%, ya que se logró eliminar las paradas no programadas y se evitó que las tareas de mantenimiento afecten la producción de la empresa.

Dicha investigación es de utilidad ya que aportó para realizar el árbol de fallos, el AMEF, criticidad de las máquinas y para elaborar las frecuencias de mantenimiento con el tiempo promedio entre fallas; el resultado de esta metodología fue la disminución de los tiempos reparación y el incremento de los tiempos de operación hasta que produzca el fallo.

Vishnu y Regikumar [8], en su investigación “Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study (Selección de estrategia de mantenimiento basada en confiabilidad en plantas de proceso: un estudio de caso)”, propuso un enfoque general para implementar Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en plantas de proceso. De forma concreta RCM selecciona la estrategia más apropiada y hecha a medida para el mantenimiento de todas las máquinas de la planta en función a su puntaje de criticidad y parámetros de confiabilidad. La estrategia de mantenimiento se basa siguiendo el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), metodología que consta de las opiniones de expertos tanto del área de mantenimiento como de producción. El modelo de implementación de RCM que se presentó en la investigación, está validado con los datos del historial de mantenimiento de una planta de proceso fabricación de dióxido de titanio que tiene una capacidad de producción de 20,000 toneladas métricas por año. El resultado de la mejora muestra la identificación de estrategias de mantenimiento óptimas para cada equipo en función de su criticidad y estudio AMEF, lo que permitió saber que los equipos que presentaron criticidad de clase Alta necesitaban un plan de mantenimiento preventivo y ya no un mantenimiento programado. El costo adicional por la implementación de mantenimiento preventivo se equilibró con el ahorro de costos al adoptar el mantenimiento de fallas para el resto de las máquinas.

Dicha investigación es de utilidad ya que sirvió para realizar el análisis de criticidad aplicado en la empresa Gemar Group E. I. R. L. e identificar que a las máquinas con criticidad alta se les realizaría el mantenimiento preventivo y así se podría lograr disminuir sus tiempos de parada y por ende aumentar sus utilidades.

Pastrana [9], en su investigación “Propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), en la Planta envasadora de garrafón, sucursal Veracruz”, tuvo como objetivo incrementar la fiabilidad de los equipos, reduciendo el tiempo de paro de la planta causado por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de producción. Por lo tanto, para identificar el equipo con mayor impacto negativo se ejecutó el diagrama de Pareto, el análisis de criticidad y el tiempo promedio entre fallos; para conocer las causas y efectos de las fallas funcionales más relevantes se utilizó el AMEF, para determinar las tareas de mantenimiento preventivo se utilizó el árbol de decisión del RCM y finalmente para la establecer la frecuencia del mantenimiento preventivo se utilizó manuales y conocimientos empíricos del personal de mantenimiento de la planta; logrando como resultado la recuperación de más de 80 unidades de producción y un ahorro en los gastos de mantenimiento por S/ 79 553,36 , lo que logró la disminución del precio unitario de producción.

Dicha investigación es de utilidad ya que aportó para determinar las máquinas con mayor impacto negativo a través del diagrama de Pareto, para saber sus causas y efectos de las fallas a través del AMEF, para determinar las tareas de mantenimiento con el árbol de decisión del RCM y sobre todo sirvió de guía para establecer la frecuencia de los periodos de mantenimiento.

## ***2.2 Bases Teórico Científicas***

### **2.2.1 Sal**

La palabra sal es un término de la química que designa a una sustancia producida por la reacción de un ácido con una base. Cuando el sodio (un mineral), reacciona con un gas venenoso mortífero conocido como el cloro, se convierte en un alimento básico para la vida, que es el cloruro sódico, única roca mineral utilizada por los humanos para su alimentación, y posiblemente el condimento más antiguo empleado por el hombre. [10]



**Figura 1. Sal refinada**

Fuente: Zapardiel, 2018.

### **2.2.2 Mantenimiento**

Según Medrano et al. [11], mantenimiento son todas las diligencias que deben ser realizadas en orden lógico, con la intención de conservar entornos de operación segura, efectiva y económica a las máquinas, equipos, activos físicos y otros de las diferentes empresas. Por lo tanto, el mantenimiento industrial como parte integral de la producción, tiene como propósito salvaguardar las funciones primordiales de todos los activos de la compañía, a lo largo de su tiempo de vida, como la estabilidad de propietarios, clientes, y su entorno; seleccionando y realizando las mejores prácticas para desafiar las fallas y mitigar sus efectos; con el compromiso positivo de todas las personas de la empresa, debidamente formadas, para ampliar sus funciones en la búsqueda inquebrantable de la excelencia operacional.

#### **2.2.2.1 Tipos de mantenimiento**

Dentro de las tipologías de mantenimiento, resaltan por su mayor utilización especialmente tres, que se han determinado como los sistemas primordiales de hacer mantenimiento, y son: mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo. [11]

##### **a) Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo es la sucesión de actividades que se requiere efectuar en las participaciones o activos de una empresa cuando desisten de proporcionar el servicio para el cual fueron planteados. El mantenimiento correctivo se ejecuta cuando se ha manifestado una falla en los equipos. Las averías y los paros en las máquinas se presentan incluso en las industrias que cuentan con un buen método de mantenimiento preventivo. Para la aligerada solución de las dificultades se requiere contar con técnicos de reparaciones especialmente enfocados en los diversos tipos de equipos y máquinas dentro de la empresa. [11]

Factores más significativos en todo sistema de mantenimiento correctivo:

- El talento de las personas
- Los equipos y máquinas
- El almacén de repuestos
- La distribución y las diligencias de control

##### **b) Mantenimiento preventivo**

Según García [12], el mantenimiento preventivo es la participación del sistema, o equipo, antes de ocurrir la falla. El conjunto de diligencias programadas a equipos para ponerlos en

marcha generando beneficios económicos, ya que les hace continuar su trabajo eficiente y seguro, con tendencia a prevenir las averías y paros imprevistos.

### c) Mantenimiento predictivo

Para García [12], es el conjunto de diligencias, programadas para detectar las averías de los activos físicos, por manifestación antes de que ocurran, con los equipos en operación y sin daño de la producción, usando aparatos de análisis y pruebas no destructivas.

#### 2.2.2.2 Diferencia entre falla y avería

Avería es un estado no deseado que hace que el elemento estructural no desempeñe una función para la cual existe, sin embargo, una falla no necesariamente produce colapso o catástrofe.

Una falla es la disconformidad visible que se produce cuando un elemento estructural con un defecto o avería desempeña la función para la cual fue creado, respecto al desempeño de dicha función es estado correcto. Es decir, una falla es el síntoma de un defecto o avería. [12]

### 2.2.3 Indicadores de Mantenimiento

Según Crespo [13] y Martínez [14] , los siguientes indicadores deben ser considerados fundamentalmente en el área de mantenimiento:

#### a) Confiabilidad o fiabilidad: Tiempo medio hasta el fallo (MTBF)

Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar los equipos y máquinas sin interrupciones dentro de un ciclo determinado.

$$MTTF = \frac{\text{Tiempo total de Operación hasta el fallo}}{\text{Número de fallas totales por máquina}} = \frac{\sum TTF}{n}$$

#### b) Mantenibilidad

Mide el tiempo de reparaciones y tareas que se realiza en el área de mantenimiento sobre los equipos, máquinas o sistemas. Sus medidas básicas son la cantidad de reparaciones o actividades planificadas y los tiempos que requiere para solucionar dichos problemas.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total para reparar fallos}}{\text{Número total de fallos}} = \frac{\sum TTR}{n}$$

### c) Overall Equipment Effectiveness (OEE)

El OEE mide la efectividad de las global de las máquinas y líneas a través de un porcentaje, que se calcula multiplicando las tres razones porcentuales fundamentales de una producción industrial: disponibilidad (tiempo disponible de operación de la máquina), tasa de ejecución (la máquina estuvo funcionando a menos de su capacidad total) y calidad (producción defectuosa).

$$OEE = Disponibilidad \times Tasa \ de \ Ejecución \times Calidad$$

En la Tabla 1, se muestra los rangos de OEE, el cual es un indicador que mide el rendimiento y productividad de las líneas de producción en las cuales las máquinas tienen una gran importancia. [14]

**Tabla 1. Clasificación del indicador OEE**

OEE	CALIFICATIVO	CONSECUENCIAS
OEE < 65%	Inaceptable	Importantes pérdidas económicas. Baja competitividad.
65% < OEE < 75%	Regular	Altas pérdidas económicas. Aceptable sólo si está en proceso de mejora.
75% < OEE < 85%	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
85% < OEE < 95%	Buena	Buena competitividad. Entramos ya en los valores del “World Class2”.
OEE > 99%	Excelente	Competitividad excelente.

Fuente: Martínez, 2007.

- **Disponibilidad**

Es una relación que muestra la proporción de las horas útiles efectivas frente las horas totales disponible del equipo, la relación está gobernada por medidas y técnicas de cálculo de precepto mundial.

$$Disponibilidad = \frac{Horas \ operativas - Horas \ inoperativas}{Horas \ operativas} \times 100\%$$



Por otro lado, Fluor Global Services [15] , muestra algunos valores más frecuentes de disponibilidad los cuáles se pueden comparar después de haber analizado los equipos de la línea de producción, se puede observar en la Tabla 2.

**Tabla 2.Comparación de los valores de Disponibilidad de acuerdo con el tipo de proceso**

Tipo de proceso	Peor	Tercero	Segundo	Mejor
Continuo	<78%	78-84%	85-91%	>91%
Batch	<72%	72-80%	81-90%	>90%
Químico, Refinería, Energía	<85%	85-90%	91-95%	>95%
Papel	<83%	83-86%	87-94%	>94%

Fuente: Fluor Global Services, estudio de Benchmarking - NA, AP, EU-1999.Extraído de Emerson Process Management, 2002.

- **Tasa de Ejecución**

La tasa de ejecución es el porcentaje de producción realizada respecto a la producción ideal o total bajo condiciones óptimas de producción.

$$Tasa\ de\ Ejecución = \frac{Producción\ Real}{Producción\ Ideal} \times 100\%$$

- **Calidad**

La tasa de calidad es la probabilidad de obtener productos en conformes de buena calidad al término del proceso productivo

$$Calidad = \frac{N^{\circ}\ de\ unidades\ conformes}{N^{\circ}\ de\ unidades\ totales} \times 100\%$$

**d) Utilidades no percibidas**

Representa el porcentaje económico que se deja de percibir, lo cual se calcula las utilidades no percibidas debido a las paradas de producción entre las utilidades totales esperadas estando en condiciones óptimas.

$$Utilidades\ no\ percibidas\ (\%) = \frac{Utilidades\ no\ percibidas}{Utilidades\ totales\ esperadas} \times 100$$

### **2.2.5 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)**

Para Gonzáles [16], el RCM es una técnica utilizada para establecer que se debe hacer para afirmar que cualquier activo físico continúe ejecutando su función, en el contexto de su línea de proceso presente, el cual proporciona una guía para identificar las diligencias de mantenimiento con sus relativas frecuencias a los activos más significativos de un contexto estratégico. No es un cálculo matemático ya que su realización se apoya en el análisis de función de los activos en un contexto específico de operaciones, efectuado por equipos o máquinas.

#### **2.2.5.1 Metodología para la implantación de RCM**

Se basa en un procedimiento que para identificar las necesidades existentes de mantenimiento de los activos, teniendo como referencia las siguientes preguntas: ¿Qué función es?, ¿Qué es la falla funcional? , ¿Cómo es el modo de falla?, ¿Cómo es efecto que genera la falla? , ¿Cómo es su consecuencia? , ¿Qué puede hacerse para anticiparse o planificar cada falla funcional?, ¿Qué hacer si se desconoce una tarea de prevención para solucionar este fallo? [16].

#### **2.2.5.2 Herramientas claves de la metodología RCM.**

##### **a) Código de máquinas**

Para Duffua et al. [17], la codificación consiste en dar a los equipos o máquinas una orientación donde encontrarlas y un nombre por el cual diferenciarlas. Logrando tener un control y conocimiento sobre aspectos técnicos, costos de reparación, características generales, etc. Para poder clasificar las máquinas o equipos se hace uso de la siguiente codificación:

ABC - COMP – 123

Donde:

ABC: Tipo de máquina.

COMP: Componente de cada máquina

##### **b) Análisis de criticidad**

En PEMEX [18], el análisis de criticidad es una técnica que permite identificar y ponderar por su importancia los activos de una empresa sobre las cuales se obtiene de una satisfacción al dirigir sus diferentes sectores (recursos humanos, económicos y de tecnología). Logra determinar la importancia y los efectos de los eventos frecuentes de fallos en los sistemas de fabricación dentro del contexto determinado en el cual se desempeñan.

Para este análisis se toma los siguientes criterios: Nivel de uso de maquinaria, frecuencia de falla, tiempo promedio para reparar, impacto sobre la producción, remplazo de equipos o accesorios, costos de reparación, impacto ambiental, impacto en salud y seguridad de personal, impacto de la calidad del producto final y asistencia técnica. (Ver Tabla 3.)

- **Fórmulas de jerarquización de los sistemas:**

$$CTR = FF \times C$$

CTR: Criticidad del riesgo

FF: Frecuencia de la ocurrencia de los fallos, C: Consecuencia de la generación de los fallos

$$C = (IO \times FO) + CM + SMA$$

IO: Factor del impacto operacional o pérdidas de producción cuando la máquina falla.

FO: Factor de flexibilidad operacional de actividades (MTTR)

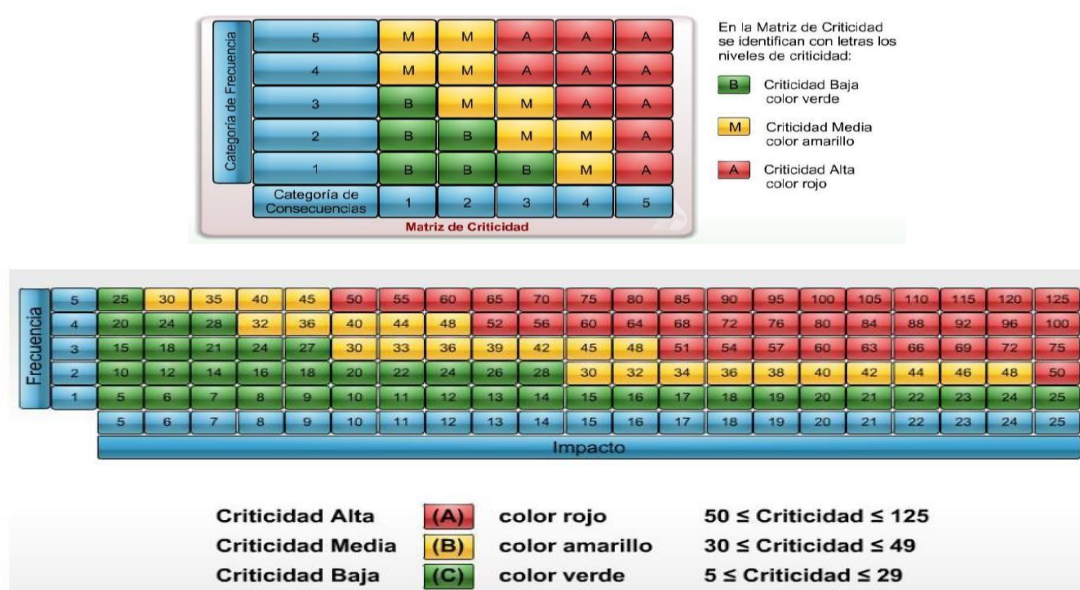
CM: Costos presentes del mantenimiento (costos de reparación)

IS: Impacto que se genera en la salud y seguridad ocupacional del personal

IA: Impacto ambiental que pueda originar la falla en temas higiene de la producción, impacto en el ambiente y seguridad industrial.

- **Matriz de criticidad**

Los resultados del análisis de los factores de ponderación son puestos en una matriz de criticidad, diferenciándose por colores ver el nivel de criticidad.



**Figura 2. Matriz de identificación de criticidad**

Fuente: PEMEX, 2007.

**Tabla 3. Factores ponderados para el análisis de criticidad**

<b>Parámetros</b>			
<b>1. Nivel de uso de la maquinaria</b>	<b>Puntaje</b>	<b>7. Impacto ambiental</b>	<b>Puntaje</b>
No más de 4 horas por día	1	No origina ningún impacto ambiental	0
Entre 5 y 8 horas por día	2	Contaminación ambiental baja	5
Entre 9 y 12 horas por día	3	Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta	10
Entre 13 y 16 horas por día	4	Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, proceso sancionatorios	25
Entre 17 y 24 horas por día	5		
<b>2. Frecuencia de falla (Todo tipo de falla)</b>	<b>Puntaje</b>	<b>8. Impacto en salud y seguridad de personal</b>	<b>Puntaje</b>
No más de 1 por año	1	No origina heridas ni lesiones	0
Entre 2 y 15 por año	2	Puede ocasionar lesiones o heridas no incapacitantes	5
Entre 16 y 30 por año	3	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre	10
Entre 31 y 50 por año	4	Puede ocasionar lesiones con incapacidad a 30 días o incapacidad	25
Más de 50 por año	5		
<b>3. Tiempo promedio para reparar (MTTR)</b>	<b>Puntaje</b>	<b>9. Impacto de la calidad del producto</b>	<b>Puntaje</b>
Menos de 4 horas	1	Ocasiona pérdidas económicas hasta 5 mil nuevos soles	3
Entre 4 y 8 horas	2	Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 5 mil < 20 mil nuevos soles	5
Entre 8 y 24 horas	3	Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 20 mil < 50 mil nuevos soles	10
Entre 24 y 48 horas	4	Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 50 mil	25
<b>4. Impacto sobre la producción</b>	<b>Puntaje</b>	<b>10. Asistencia técnica</b>	<b>Puntaje</b>
No afecta la producción	0,05	Si existe	1
Menos de 25 % de impacto	0,3	Regular	2
Entre 25% y 50 % de impacto	0,5	Escasa	3
Entre 50% y 75% de impacto	0,75	No existe	4
Entre 75% y 100% de impacto	1		
<b>6. Costos de reparación (miles de nuevos soles)</b>	<b>Puntaje</b>		
Hasta mil	1		
De mil a 5 mil	3		
De 5 mil a 20 mil	5		
De 20 mil a 50 mil	10		
Más de 50 mil	25		

Fuente: Elaboración propia en base a PEMEX, 2007.

### c) Diagrama de Pareto

Según Parra y Crespo [19], en el siglo XIX, el ingeniero Wilfredo Pareto, realizó histogramas sobre la base de la repartición de la fortuna en Italia, concluyendo que el 80% de la fortuna del país se encontraba en manos del 20% de la población en general, separando los problemas muy importantes de los menos importantes. En su estudio a la ingeniería de mantenimiento, el diagrama de Pareto es utilizado para identificar aquellos equipos o máquinas con fallos más críticos ya sea en aspectos del costo de reparación, confiabilidad o disponibilidad

de los equipos. Este diagrama es significativo a la hora de establecer los equipos críticos y lo representa de manera gráfica.

#### **d) Análisis de Weibull**

Esta herramienta de análisis consiste en determinar la dispersión de cada una de las fallas de una máquina, con el fin de obtener una predicción de la confiabilidad de esta. Para esto se hace uso de la ecuación de la regresión lineal, de la cual se obtiene dos parámetros importantes, el parámetro de forma y la escala. El parámetro de escala detalla el tiempo promedio entre falla de cada una de las máquinas. Estos dos parámetros definen la confiabilidad a través de la siguiente fórmula:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}$$

Donde:

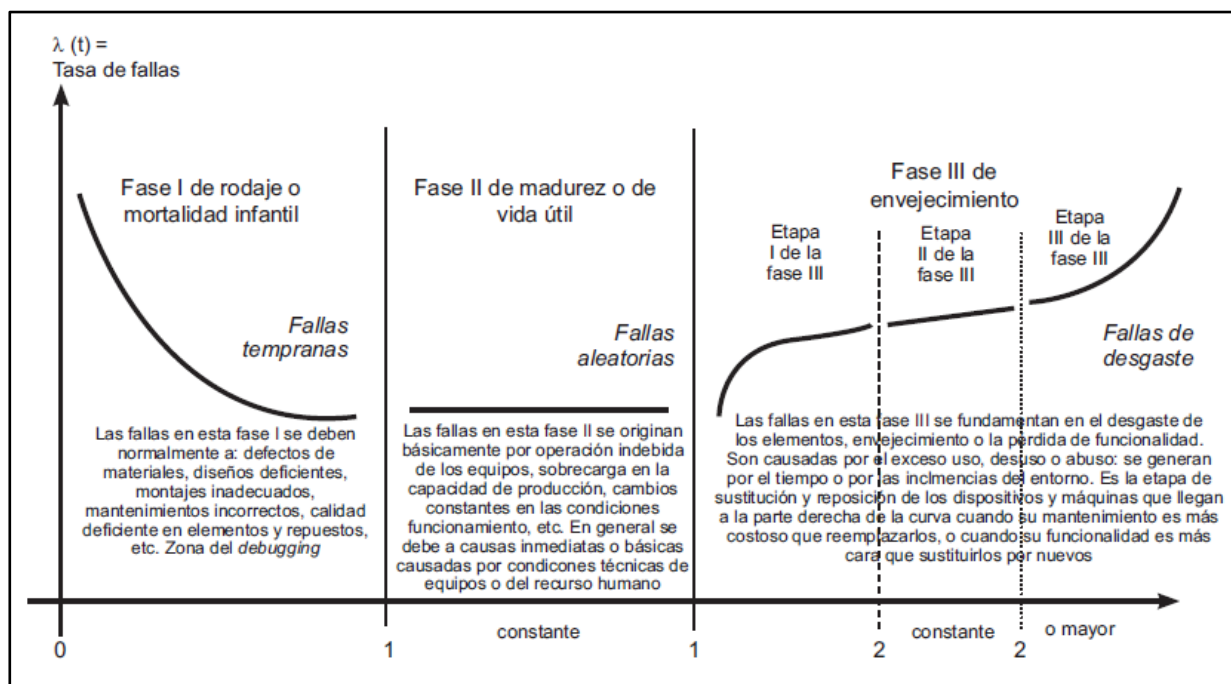
- $R(t)$ : Confiabilidad en el tiempo ( $t$ )
- $t$ : Tiempo considerado
- $\eta$ : Vida característica, la cual se define como el tiempo en el cual el 63.2% de la población habrá fallado
- $\beta$ : Factor de forma = 1, indica las fallas aleatorias

El parámetro de forma lo define Mora [20] en la curva de la bañera, como el ciclo de vida de la maquinaria, este ciclo se clasifica en tres fases:

- En la fase I ( $\beta < 0$ ), sirven mucho las acciones correctivas y modificativas dentro de un, aparte de que son útiles en la fase para la siguiente fase.
- La fase II ( $\beta = 1$ ), se caracteriza por fallas de origen técnico, ya sea de procedimientos humanos o de equipos, la probabilidad de falla en la fase II es constante, indiferente del tiempo que transcurra.
- En la fase III se observa un aumento paulatino de la tasa de fallas en la medida en que aumenta el tiempo hacia la derecha. Se presentan varias etapas: en el ciclo I de la fase III ( $1 < \beta < 2$ ), la tasa de fallas empieza a aumentar de manera suave, en esta fase ya se puede empezar a utilizar acciones planeadas preventivas debido a que fallas se conocen y se tiene un determinado control sobre ellas; es la etapa en que la ingeniería de confiabilidad ejerce dominio. En la etapa II de la fase III ( $2 = \beta$ ), se aumenta la tasa de fallas en forma constante

con pendiente positiva en forma rectilínea, se inicia la transición de acciones preventivas a acciones predictivas. Finalmente, en la Etapa III de III ( $2 < \beta$ ), de desgaste puro, en que la vida útil del elemento se acelera y la tasa de fallas se incrementa aceleradamente, se recomienda la reposición o sustitución de la máquina.

En la Figura 3, se muestra la representación de la gráfica de la curva de la bañera.

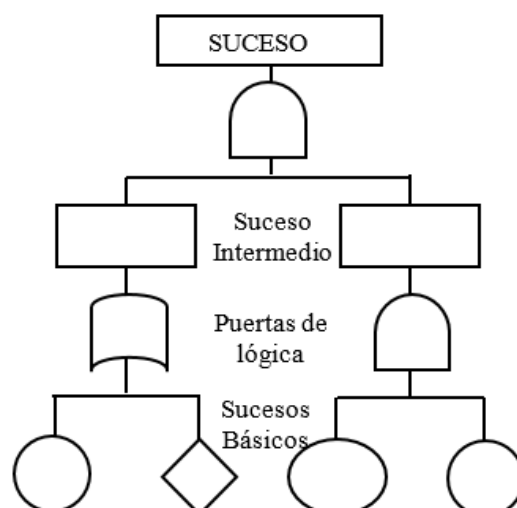


**Figura 3. Representación de la curva de la bañera**

Fuente: Mora, 2009: pp.108.

#### e) Análisis del árbol de fallas

Para Cejalvo y Piqué [21], un análisis de fallas con representaciones de árbol es una herramienta metódica que comienza por la indagación de un suceso o evento no esperado al cual se le designa evento TOP, y concluye analizando las causas del porqué ocurrió dicho evento. El análisis se representa mediante el árbol de fallos, el cual se forma de la composición de varios eventos básicos que se hallan relacionados a fallos de componentes, errores humanos, errores operativos, etc. (Ver Figura 4.)






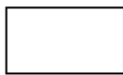


**Figura 4. Estructura del árbol de fallos.**

Fuente: Cejalvo y Piqué, 1999.

Para conectar a los eventos se utilizan puertas lógicas y los símbolos se representan en la Tabla 4.

**Tabla 4. Símbolos empleados en la representación del árbol de fallas**

Símbolo	Significado del símbolo
	<b>Suceso básico:</b> no necesita de un posterior desarrollo, se considera como fallo base.
	<b>Óvalo:</b> representa un escenario especial que puede suceder solamente si ocurren ciertas circunstancias.
	<b>Diamante:</b> identifica un suceso final sin desarrollar debido a una carencia de información o importancia.
	<b>Puerta Y:</b> representa una condición en la cual todos los sucesos mostrados debajo de la puerta tienen que estar presentes para que se origine el suceso arriba de la puerta. El suceso surgirá solamente si todos los sucesos de entrada existen paralelamente.
	<b>Puerta O:</b> representa una situación en la cual cualquier de los sucesos presentes debajo de la puerta llevarán al suceso mostrado arriba de la puerta. El suceso surgirá si solamente uno o cualquier combinación de los sucesos de entrada ocurren.
	<b>Rectángulo:</b> es el componente principal del árbol. Representa el suceso negativo, puede ubicarse por todo el árbol para indicar otros sucesos que pueden dividirse más. Este es el único símbolo que tendrá abajo una puerta de lógica y sucesos de entrada.

Fuente: Cejalvo y Piqué, 1999.

#### **f) Análisis de los modos y efectos de los fallos (AMEF)**

Según Parra y Crespo [19], el AMEF es una técnica principal del RCM para mejorar la gestión de mantenimiento en una empresa determinada, ya que ayuda a identificar las primeras cinco incógnitas básicas del RCM y tiene como finalidad encontrar todos los modos en los que surge un fallo de un activo dentro de una operación, reconociendo los posibles efectos de estos en relación con tres criterios básicos: la seguridad en los humano, el cuidado ambiental, y la afectación a la producción. Las etapas que se tiene en cuenta para su desarrollo son:

- Identificar a los equipos y componentes críticos.
- Identificar las funciones de cada equipo; las funciones es la finalidad de los equipos en un contexto operacional.
- Establecer las fallas funcionales; se denomina fallo funcional a la ocurrencia no esperada, haciendo que el equipo no realice el funcionamiento esperado.
- Establecer los modos de fallas; son las causas físicas de las fallas funcionales, estas pueden originar fallas funcionales totales como parciales.
- Identificar los efectos de falla; efectos que surgen cuando se origina la falla, se evalúa cómo afecta a la seguridad humana, medio ambiente y producción.
- Realizar el cálculo del número de prioridad de riesgo (NPR), el cual es producto de la valoración de la gravedad, ocurrencia y detección. Se utiliza para ordenar las dificultades de diseño o de proceso por orden de importancia.
- Establecer la tarea recomendada a realizar; esta se deriva luego de haber encontrado la causa principal.
- Retribución de responsabilidades.
- Nuevo cálculo de NPR mejorado.

#### **Criterios de valoración del Número de Prioridad de Riesgo (NPR)**

Automotive Industry Action Group (AIAG) [22], describe los siguientes criterios para la ponderación de Gravedad, Ocurrencia y Detección:

- **Gravedad:** comprende los criterios de insatisfacción del cliente, degradación de prestaciones, coste y tiempo de reparación de daño ocasionado.



**Tabla 5. Criterios para ponderación de Gravedad en AMEF**

Efecto	Criterio	Nivel
Peligroso sin aviso	La falla afecta la operación segura del equipo, puede poner en riesgo al operador, la falla ocurre sin previo aviso.	10
Peligroso con aviso	La falla afecta la operación segura del equipo, puede poner en riesgo al operador, la falla ocurre con previo aviso.	9
Muy alto	Puede ser que el 100% del producto se deseche. Paro de línea.	8
Alto	Puede ser que una proporción de la corrida de producción se deseche. Desviación del proceso primario incluyendo un decremento en la velocidad de la línea o adición de mano de obra.	7
Moderado	Puede ser que el 100% de la corrida de producción tenga que re-trabajarse fuera de la línea y ser aceptada.	6
Bajo	Puede ser que una proporción de la corrida de producción tenga que re-trabajarse fuera de la línea y ser aceptada.	5
Muy bajo	Puede ser que el 100% de la corrida de producción tenga que re-trabajarse en la estación, antes de ser procesada	4
Remoto	Puede ser que una proporción de la corrida de producción tenga que re-trabajarse en la estación, antes de ser procesada.	3
Muy Remota	Leve o ligera inconveniencia al proceso, operación u operador.	2
Ninguno	Sin efecto discernible.	1

Fuente: Automotive Industry Action Group (AIAG), 2008.

- **Ocurrencia:** se refiere a la probabilidad de que las fallas sucedan. Para minimizarla es necesario aumentar o mejorar los sistemas de control para prevenir que se origine la causa de fallo y cambiar el diseño de modo que se minimice la probabilidad de fallo.

**Tabla 6. Criterios para ponderación de Ocurrencia en AMEF**

Efecto	Criterio	Nivel
<b>Muy alta.</b> Fallos muy repetitivos	1 falla al mes	5
<b>Alta.</b> Fallos repetitivos	1 falla entre 1 a 3 meses	4
<b>Moderada.</b> Fallos ocasionales	1 falla entre 3 meses a 6 meses	3
<b>Baja.</b> Pocos Fallos	1 falla entre 6 meses a un año	2
<b>Muy Baja.</b> Muy pocos fallos	1 falla cada un año	1

Fuente: Automotive Industry Action Group (AIAG), 2008; y Berger, 2015.

- **Detección:** determina el grado de detección del fallo antes que llegue al cliente. Para minimizar este índice se puede desarrollar o mejorar los sistemas de control de calidad o cambiar el diseño.

**Tabla 7. Criterios para valoración de Detección en AMEF**

Probabilidad de detección	Criterio	Nivel
Casi imposible	Sin control de proceso actual; No Puede detectarse.	10
Muy remota	La causa del Modo de Falla no es fácilmente detectada.	9
Remota	Detección del Modo de falla posterior al procesamiento, por el operador por medios visuales/táctiles/audibles.	8
Muy baja	Detección del Modo de Falla en la estación por el operador a través de medios visuales/táctiles/ audibles.	7
Baja	Detección del Modo de Falla posterior al procesamiento, por el operador con el uso de gages de atributos (pasa/no pasa)	6
Moderada	Detección del Modo de Falla en la estación por el operador a través del uso de gages o controles que notifiquen al operador (luz, timbre).	5
Moderadamente alta	Detección del Modo de Falla posterior al procesamiento por controles automatizados.	4
Alta	Detección del Modo de la Falla en la estación por controles automatizados.	3
Muy alta	Detección de las causas del fallo en la estación por controles automatizados que detectan el error y lo previenen	2
Casi cierta	Prevención de las causas del fallo como resultado del diseño de un dispositivo, diseño de la máquina o diseño de la parte.	1

Fuente: Automotive Industry Action Group (AIAG), 2008.

- **Determinación del Índice de Prioridad de Riesgo (NPR)**

$$NPR = Gravedad \times Ocurrencia \times Detección$$

Para Berger et. al [23], el valor del NPR permite evaluar diferentes niveles de riesgo los cuales se clasifican en la Tabla 8.

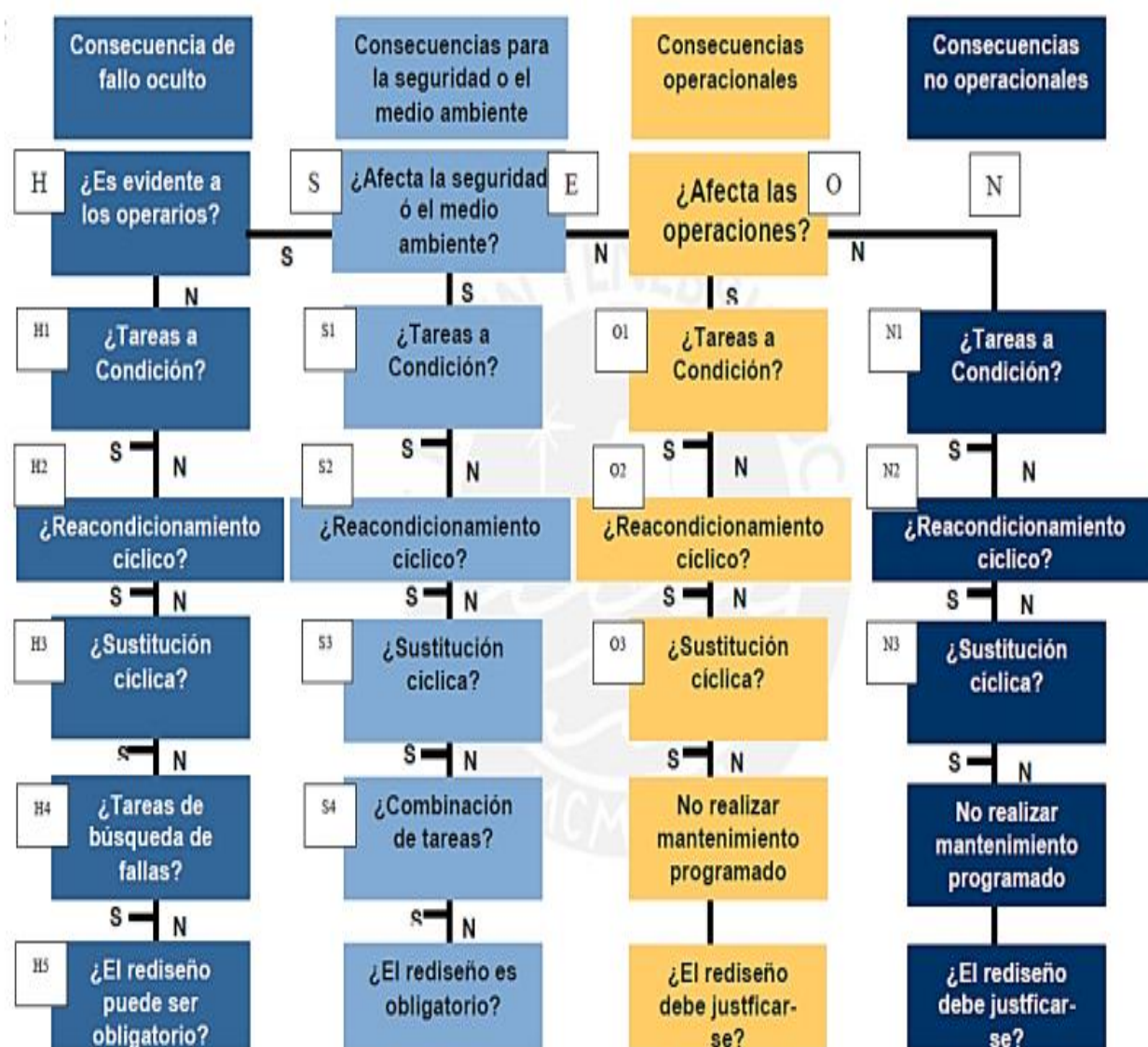
**Tabla 8. Clasificación de valores de NPR**

$NPR > 200$	Inaceptable (I)
$200 \geq NPR > 125$	Reducción deseable (R)
$125 \geq NPR$	Aceptable (A)

Fuente: Berger, 2015.

### g) Hoja de decisiones del RCM ( Reliability Centred Maintenance)

Parra y Crespo [19], determinan el RCM como una técnica, la cual selecciona óptimamente una tarea eficiente en el área de mantenimiento, para contrarrestar los efectos de los fallos. Utilizada para registrar el control de respuesta de las interrogantes realizada en los diagramas de decisión (Ver Figura 5) y llevar a cabo una rutina de mantenimiento, con una determinada frecuencia y con responsable a cargo (Ver Tabla 9). Ayudado también por el árbol lógico de decisiones.



**Figura 5. Diagrama de Decisiones**

Fuente: Parra y Crespo, 2012.

**Tabla 9. Hoja de decisiones de RCM**

HOJA DE DECISIONES DE RCM								ÁREA: EQUIPO:			Intervalo inicial (Tiempo)	Realizarse por:
Referencias de Información			Evaluación de los daños				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N2	Acción a falta de H4 H5 S4		
F	FF	FM	H	S	E	O						

Fuente: Parra y Crespo, 2012.

La hoja de decisión RCM está separada en 16 columnas. Las columnas F, FF y FM (función, falla funcional, modo de falla), logran diferenciar los modos de fallo bajo consideración, sin embargo, los 10 encabezados siguientes responden a las decisiones del RCM, de la siguiente manera:

- H, S, E, O y N: registran las respuestas a las interrogantes respecto a las consecuencias de cada modo de falla.
- H1, H2, H3, etc.: registra si una actividad proactiva ha sido elegida, y de ser así, el tipo de actividad.
- Para cualquier otro tipo de pregunta “a falta de”, se debe utilizar los encabezados H4 y H5, o S4 para las posibles respuestas.
- Finalmente, los 3 últimos encabezados registran la tarea o actividad que se ha sido dada, la frecuencia de esta y el encargado que la realizará.

### Consecuencia de los fallos

Luego de analizar la hoja de decisiones, se prosigue a evaluar la situación de cada fallo teniendo como finalidad encontrar una solución para prevenir o no el fallo. [19]

### División del RCM respecto a las consecuencias de los fallos

- Fallas ocultas: No tienen ninguna repercusión negativa directa, pero logran que la instalación esté propensa a diversas fallas que originen consecuencias de gran importancia.
- Seguridad humana y del medio: Un modo de fallo tiene consecuencias en el impacto ambiental o en la seguridad humana cuando se quebranta por cualquier motivo o existe la probabilidad de generar daños físicos en la seguridad de la persona.
- Operacionales: En este ítem se incluyen las consecuencias de falla que producen pérdidas económicas y disminución de la producción.

- **No operacionales:** Los efectos de falla que se incluyen en esta etapa son aquellos que no repercuten ni a la producción ni a la seguridad, solo se solicita la reparación o sustituyo de los equipos afectados. [16]

### **Prevención de los fallos**

Las actividades preventivas se ejecutan siempre y cuando se evidencie que realizándolas se pueden evitar los efectos de la falla, por lo cual se realiza las siguientes actividades de prevención de fallos:

- **Tareas programadas basadas en una condición:** Se centran en el hecho de que la generalidad de los modos de fallos no sucede instantáneamente, sino que se surgen paulatinamente en un periodo de tiempo.
- **Tareas de reacondicionamiento:** Son acciones periódicas que se llevan a cabo para reponer un activo a su condición original y lograr la prevención en los activos en un intervalo de tiempo.
- **Tareas de sustitución:** Esta acción está encaminada específicamente hacia la sustitución del total del equipo o parte de este, teniendo en cuenta su vida útil para prevenir que se origen los fallos

### III. RESULTADOS

#### 3.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA GEMAR GROUP E. I. R. L.

Para el desarrollo de este capítulo, se describió el diagnóstico general de la empresa, enfocado en el proceso productivo, para lo cual se recopiló registros brindados por el jefe de producción desde el mes de enero hasta diciembre del 2019, en los cuales se analizó la producción, las ventas y el paro de las máquinas, lo cual fue generado por las constantes fallas. Así mismo, se describió las máquinas que la empresa utiliza para la producción de sal seca y se identificó las horas de paradas y el motivo de los fallos. Por último, se realizó un análisis respecto a los indicadores de mantenimiento y a sus utilidades no percibidas.

##### 3.1.1 La empresa

Gemar Group E. I. R. L., empresa industrial en dónde se desarrolló dicha investigación, con RUC 20525416543, se dedica al procesamiento, envasado y comercialización de sal de mesa y cocina, cómo también brinda el servicio de maquilado, ofreciendo su producto para el mercado del sector alimenticio en las presentaciones de: Sal Sabor Premiun, Sal Sabor Económica, Max Sal y Sal seca de 50 kg. Está ubicada en la carretera a Morrope kilómetro 810 de la Panamericana Norte (Centro Poblado Cruz de Medianía). Sus actividades iniciaron desde el año 2012, contando anteriormente con otra razón social pero actualmente desde el año 2016, la gerente y dueña es la señora María Alejandrina Delgado Ramírez.

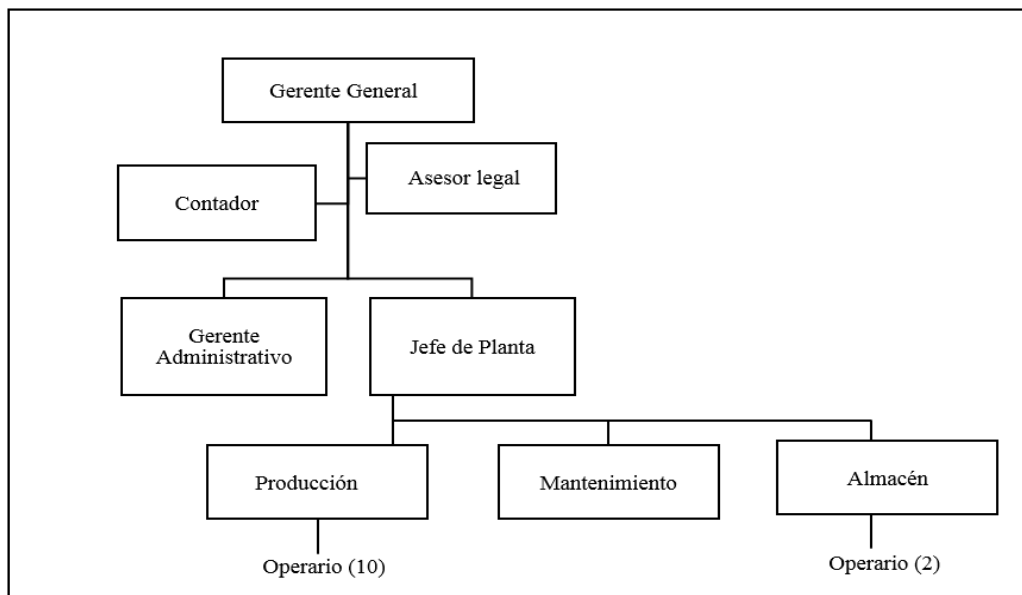


**Figura 6.**Ubicación geográfica de la empresa Gemar Group E. I. R. L.

Fuente: Google Maps, 2019

### 3.1.2 Estructura organizacional de la empresa

Gemar Group, es una empresa pequeña y por ende su personal es reducido. Se encuentra jerarquizado de la forma tradicional, lo cual se puede apreciar la organización en la Figura 7.



**Figura 7. Organización de la empresa**

Fuente: Elaboración propia. En base a Gema Group E. I. R. L., 2019.

Descripción de las funciones que desempeñan los encargados en el organigrama de la empresa:

- Gerente General: la gerencia está representada por la Sra. María Alejandrina Delgado Ramírez la cual es dueña de la empresa y está encargada de coordinar todas las operaciones que se realicen, contando con la ayuda de un asesor legal (abogado) y un contador.
- Gerente Administrativo: representado por el Sr. Felipe Delgado Ramírez, el cual está encargado de la administración, ventas y marketing de la empresa (no tiene estudios superiores).
- Asesor Legal: Representado por un abogado, el cual se encarga de los asuntos legales de la empresa.
- Jefe de Planta: Está encargado de supervisar la producción, la materia prima, el producto final en el almacén y también desempeña la función de realizar el mantenimiento a las máquinas junto con un técnico eléctrico cuando estas presentan fallas aplicando medidas correctivas ya que ambos cuentan con estudios técnicos en mecánica y eléctrica respectivamente.

- **Operarios:** En el área de producción se cuenta 10 operarios los cuales se encargan de trasladar la materia prima, envasar, sellar, cocer y empaquetar el producto terminado, mientras que en almacén se cuenta con 2 operarios para distribuir los sacos de sal en dicha área.

### 3.1.3 Producto

- **Producto principal**

Gemar Group se caracteriza por procesar sal de mesa (refinada) y sal de cocina; siendo su producto principal el saco de sal seca de 50 kg (se puede observar las características del producto en la ficha técnica de la Tabla 12), ya que dicho producto es vendido directamente a los clientes o utilizado como insumo para presentaciones de paquetes de 25 kg según sea el pedido. En la Tabla 10, se muestra el precio de venta, el cual es S/ 16.

**Tabla 10. Precio de sal seca de 50 kg**

Producto	Kg	Precio de venta
Sal seca	50	S/ 16

Fuente: Gemar Group E. I. R. L

- **Otras presentaciones**

En la Tabla 11, se puede observar que la empresa utiliza también otras presentaciones como nombres comerciales para ofrecer al mercado, de acuerdo a los pedidos del cliente: “Sal Sabor Premium”, una sal refinada en presentaciones de bolsas pequeñas de 1 kg aproximadamente de 25 unidades empaquetadas en sacos de 25 kg, con un precio de venta de S/ 12,50 ; “Sal Sabor económica”, sal húmeda en presentaciones de bolsas pequeñas de 1 kg aproximadamente de 25 unidades empaquetadas en sacos de 25 kg, con precio de venta de S/ 8 y Max Sal, una sal de cocina en sacos de 25 kg. Cabe resaltar que la empresa también ofrece servicio de maquilado.

**Tabla 11. Precio de venta de otras presentaciones**

Producto	Precio de venta
Sal Sabor Premium (sal de mesa en paquetes de 25 unidades x 1 kg c/u)	S/ 12,50
Sal Sabor Económica (sal húmeda en paquetes de 25 unidades x 1kg c/u)	S/8
Max Sal (sal de cocina en sacos de 25 kg)	S/ 7

Fuente: Gemar Group E. I. R. L




- **Desechos**

Los desechos que se generan son las bolsas, sacos e hilo que vienen fallados o que han sido utilizados en proceso de fabricación y sufren algún daño.

- **Desperdicios**

En el proceso de producción se desperdicia la sal en pequeñas partículas, las cuales caen de las máquinas, tal es el caso para la etapa de refinación, secado, tamizado y envasado. Así también, la sal que resulta quemada del proceso es desechada.

**Tabla 12. Ficha técnica de sal**

Ficha Técnica		
<b>Nombre la materia prima y/o insumo</b>	Sal	
<b>Descripción física del producto</b>	Denominado cloruro de sodio o sal de mesa, ligeramente comestible y utilizado como condimento	
<b>Ingredientes principales</b>	Cloruro de sodio	
<b>Ingredientes secundarios</b>	Ferrocianuro de sodio Yodato de potasio	
<b>Características físicas de la materia prima y/o insumo</b>	<b>Apariencia</b>	Sólido grumoso
	Color	Blanco
	Sabor	Fuerte
	pH	7 (neutro)
	Textura	Grumosa
<b>Estado de la materia prima y/o insumo</b>	Sólido grumoso	
<b>Cantidad</b>	50 kg	
<b>Empaques y presentaciones</b>	Sacos de polietileno	

Fuente: Gema Group E. I. R. L., 2019.

### 3.1.4 Proceso Productivo

El proceso de producción de la empresa Gemar Group E. I. R. L. es continuo, ya que presenta una sola línea de producción y se caracteriza por tener un flujo constante sin que exista detención entre sus etapas de operación, a excepción del cocido y pesado que se realiza manualmente.

#### 3.1.4.1 Materiales

- **Materiales Directos**

**Halita:** conocida también como sal en gema o en roca, derivado del nombre griego “Halos”. En su composición contiene 39, 3% de sodio y 60,7%, en algunos casos con impurezas de cloruro de magnesio y sulfatos. La materia prima es proveniente de la mina de Bayóvar (Sechura- Piura) y traslada en tráiler hasta la empresa



**Figura 8. Sal en Gema (Halita)**

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.

**Ferrocianuro y Yodo:** El yodo es un elemento químico esencial ya que la deficiencia de yodo produce bocio y mixedema. Es por ello que el Ministerio de Salud ha dispuesto el uso de yodo y flúor para prevenir estas enfermedades. La empresa utiliza 1 kg/diario de yodo la cual se mezcla en 12 L de agua y ferrocianuro, su aplicación se realiza en la etapa de molienda.

**Agua:** Aproximadamente en el proceso productivo de la sal se utiliza 12 L de agua, necesaria para disolver el yodo, este es agregado en la etapa de molienda.

- **Materiales indirectos.**

Se encuentran los sacos de polipropileno adquiridos en la empresa PROCOM S. A. C., el hilo pabilo usado para coser el saco adquirido en la empresa SAVOY E. I. R. L, y las bolsas plásticas utilizadas para envasar las otras presentaciones de 1kg sal yodada de mesa o cocina, los envases son adquiridos en la empresa Good Pack S. A. C.

- **Suministros**

#### **Carbón de piedra**

La empresa utiliza carbón mineral o de piedra proveniente de Cajamarca como fuente de energía para la etapa de secado, consumiendo 4 toneladas al mes con costo de S/ 450 por tonelada

#### **GLP**

Se utiliza el GLP (Lima Gas) como otra fuente de energía para la etapa del secado, utilizando 800 galones/ mes a un costo de S/ 6 326.

#### **Energía eléctrica**

La empresa, consume 3,59 kW/h en sacos de sal de 50 kg producidos, dando un total mensual energía eléctrica de 745,846 kW/mes. En dinero S/ 2 424.

#### **Agua**

La empresa utiliza agua potable proveniente de Epsel, consumiendo 312 litros al mes en el proceso de producción de sal de 50 kg.

### **3.1.4.2 Proceso de producción**

El proceso productivo que la empresa Gemar Group realiza para el proceso de sal seca de 50 kg es el siguiente:

- **Recepción**

La materia prima (sal en roca) proveniente de la mina de Bayóvar (Sechura-Piura) llega en sacos de 55 kg y son colocados en el almacén, posteriormente son trasladados al área de producción y vaciados cada saco a una mesa alimentadora la cual controla el flujo de la materia prima, para luego pasar a un tornillo sin fin (transportador).



**Figura 9.Recepción de sacos de sal**

Fuente: Gema Group E. I. R. L.

- **Molienda 1**

El tornillo sin fin lleva la sal en roca a una pre molida en dónde el molino chancador, disminuye el tamaño de la gema para poder mejorar el proceso siguiente, siendo luego recepcionada por una mesa impulsadora.

- **Secado**

La mesa impulsadora hace paso de la sal al primer secador, el cual es un horno (cilindro rotatorio) de 6 m. de largo y 12 r.p.m. (revoluciones por minuto), contando con 3 calderas que mantienen encendido el fuego (combustionada con gas y carbón) las misma que con ventiladores de 3 paletas permiten la circulación de aire caliente. El secador, con una temperatura de (100 °C-110°C), elimina la humedad dejando seca la sal, más fraccionada y a una temperatura muy alta, luego es transportada por un tornillo sin fin cerrado hacia el molino refinador.

- **Molienda 2**

En este proceso la sal pre molida y secada a altas temperaturas entra a un molino de martillos para ser refinada en partículas muy pequeñas y a la vez por un dosificador agregado vierten por goteo con una manguera una mezcla de agua, yodo y ferrocianuro, en una proporción de 12L de agua para un 1kg de yodo. Siendo trasladada la sal refinada por un tercer tornillo sin fin semiabierto hacia el segundo secador.

- **Enfriado**

En esta etapa la sal ya seca a altas temperaturas entra a un enfriador rotatorio en forma de cilindro por el cual circula aire a temperatura ambiente y hace girar la sal con el fin de que esta se enfríe, pasando luego a un elevador de cangilones.

- **Tamizado**

El elevador de cangilones funciona como un transporte y a la vez realiza un último enfriado de la sal debido a su altura. Posteriormente pasa la sal seca y enfriada a una zaranda clasificadora donde se clasifica el material por una malla de acuerdo a la granulometría adecuada de 595  $\mu\text{m}$ , a través de movimientos vibratorios, dicha criba tiene dos compartimientos, por uno cae sal refinada clasificada (de mesa), mientras que en el segundo cae los granos de sal más gruesos, los mismos que son llevados al reproceso.

- **Llenado**

La sal clasificada se almacena en una tolva de la tamizadora la cual se abre para llenarse en sacos de 50kg.

- **Pesado y cosido**

Los sacos de 50 kg son posteriormente son pesados y cosidos.

- **Almacenado**

El producto terminado es llevado hacia el área de almacenamiento, para su posterior venta.

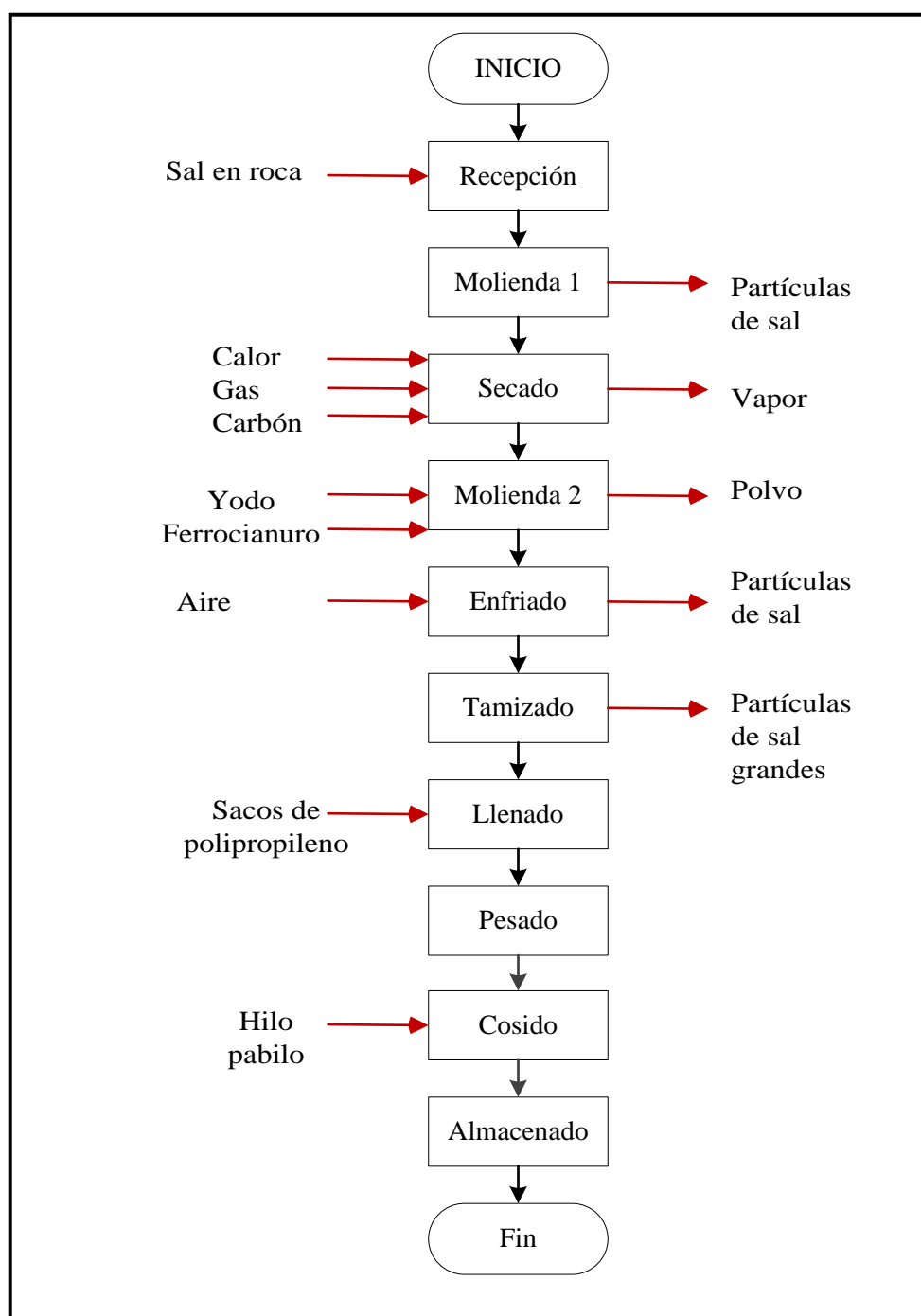


**Figura 10. Almacenado de sacos de 50 kg**

Fuente: Gema Group E. I. R. L.

### 3.1.4.2 Diagrama de procesos

- Diagrama de flujo del proceso de producción de sal seca de 50 kg

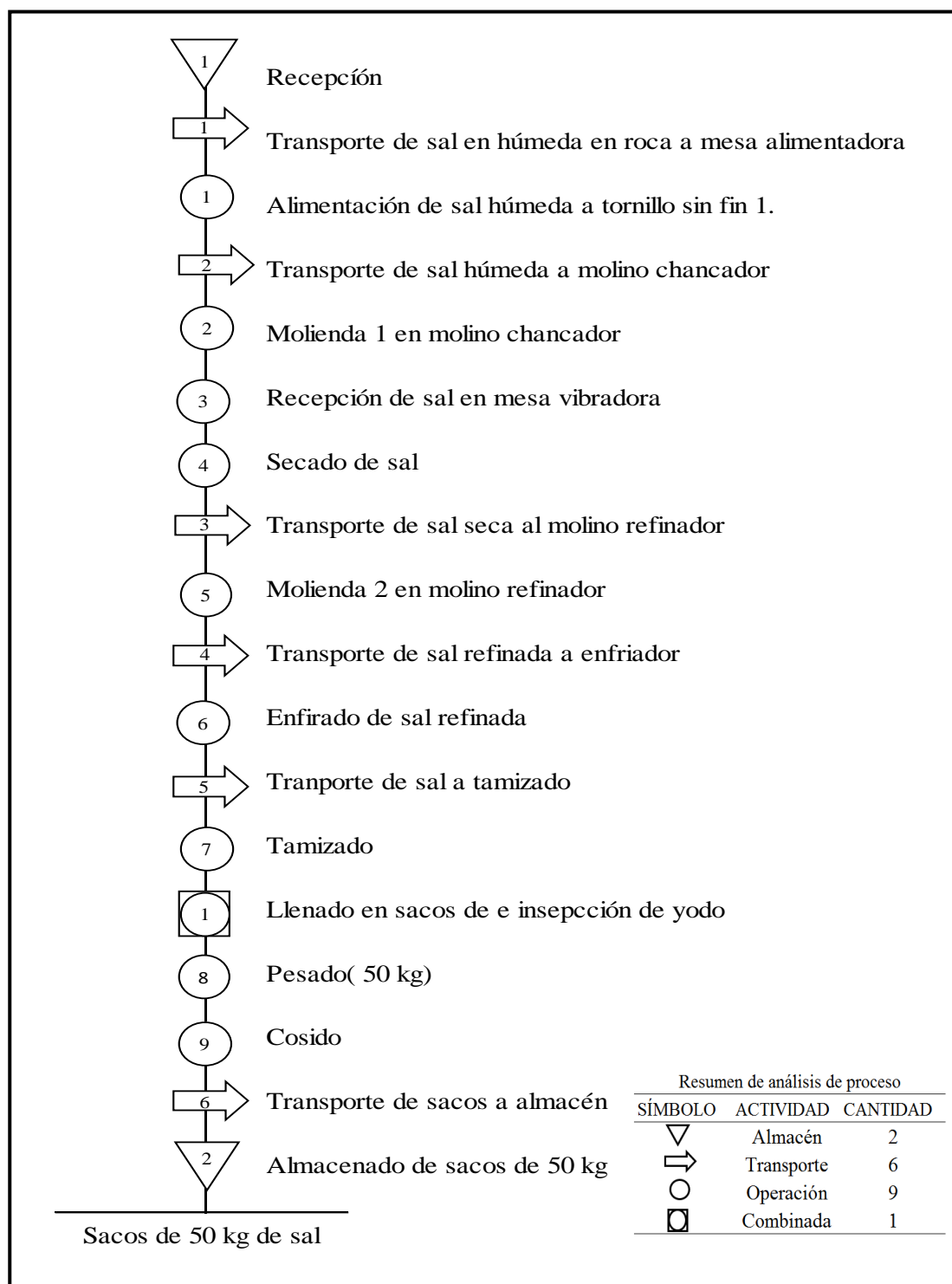


**Figura 11. Diagrama de flujo de sacos de 50 kg**

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.

En la Figura 10, se detalla el proceso de elaboración de sal seca de 50 kg, en el cual se observa cada etapa hasta el almacenamiento del producto, al igual que la entrada de materia prima e insumos y salidas (desperdicios y emisiones).

- **Diagrama de operaciones del proceso de producción de sal seca de 50 kg**



**Figura 12. Diagrama de operaciones del proceso de sacos de 50kg de sal**

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.

En la Figura 12, se observa el diagrama de proceso de elaboración de sacos de 50 kg, el cual tiene 9 operaciones, 6 transportes, 1 combinada y 2 almacenes los cuales son para la recepción de la materia prima y para el producto final el cual es luego vendido a los clientes.

### 3.1.5 Situación actual de mantenimiento en Gemar Group E. I. R. L.

El área de mantenimiento se encuentra compuesto por el jefe de mantenimiento, el cual a la vez desempeña la función de técnico mecánico y junto con un técnico eléctrico están encargados de realizar el mantenimiento a las máquinas cuando estas presentan fallas, aplicando medidas correctivas ya que cuentan con estudios técnicos en mecánica y eléctrica respectivamente. La empresa en el almacén cuenta con algunos repuestos, los más comunes, pero cuando se trata de repuestos que no se tiene, se hace el pedido al encargado administrativo, y se espera hasta que el repuesto sea comprado, este proceso puede tardar horas, incluso días debido a la distancia de la empresa ya que se encuentra ubicado en la carrera a Morrope, lo cual genera paradas en la línea de producción. El proceso de reparación de las fallas se realiza de la siguiente manera:

- Inspección de la falla
- Retiro de la pieza averiada
- Reparación de la pieza dañada, o adquisición de una nueva.
- Incorporación de la pieza a la máquina
- Revisión del correcto funcionamiento de la máquina

#### 3.1.5.1 Equipos y herramientas para realizar mantenimiento

En la Tabla 13, se muestra los equipos y herramientas con las que actualmente cuenta la empresa para realizar mantenimiento a las máquinas, algunos equipos funcionan con normalidad, mientras que otros presentan algunas fallas.

**Tabla 13. Equipos y herramientas de mantenimiento**

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Situación actual</b>
Soldador con electrodo	1	Perilla averiada, Amperaje de 0 a 180 A
Amoladora de mano	1	Carencia de caperuza protectora de aspiración
Esmeril de mesa	1	Carencia de caperuzas protectoras de aspiración
Taladrador de mesa	1	Operativo
Taladro manual	1	Operativo
Taladro de banco		Operativo
Compresor de aire	1	Operativo
Pistola de pintar	1	Operativo
Máquina de soldar	1	Operativo
<b>Herramientas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Situación actual</b>
Llaves mixtas de 1/2", 1", 2", 1/34", 24", 22", 1/8"	1	En buen estado
Esmeril	1	En buen estado
Cortadoras	1	En buen estado
Juego de dados	1	En buen estado
Juego de llaves hexagonales Stilson	1	En buen estado
Destornilladores (plano y estrella)	1	En buen estado
Disco de desbaste	1	En buen estado

Fuente: Gemar Group E. I. R. L, 2019.



### 3.1.5.2 Condición actual de las máquinas



**Figura 13. Cubierta metálica de secador totalmente corroída y deteriorada**  
Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019



**Figura 14. Desgaste de fajas**  
Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.



**Figura 15. Guías y polines corroídos por falta de limpieza y lubricación**  
Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019



**Figura 16. Aspas de helicoidal desoldadas**  
Fuente: Gemar Group E. I. R. L, 2019



**Figura 17. Acumulación de material en polín de Elevador de cangilones**  
Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019

### 3.1.6 Análisis del contexto operacional

En los siguientes ítems se describe el contexto operacional integrado por las máquinas de la línea de producción en la empresa Gemar Group E. I. R. L. las cuales reciben un mantenimiento correctivo.

#### a) Máquinas para cosido y envasado

- **Función:** Coser, sellar y pesar la sal, ya que en la etapa de envasado este proceso se realiza manualmente. La empresa cuenta con 4 balanzas, 3 cosedoras y 4 selladoras.




**Figura 18. Cosedora, selladora y balanza**

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

#### b) Mesa alimentadora

- **Función:** Recepciona la sal en gema y controla el flujo de la materia prima para luego ser recepcionada por el sin fin 1
- **Características técnicas:**

**Tabla 14. Características técnicas de la mesa alimentadora**


Características técnicas		Mesa alimentadora
Marca	Sin marca	
Año de fabricación	2 016	
Dimensiones	Largo: 2m	
	Ancho : 90 cm	
Capacidad	3000 kg/h o 60 sacos/h	
Polea conducida	3 ½"	
Excéntrica	6 ½"	
Eje	1 ½"	
Chumaceras de pie	1 ½"	
Motor		
Marca	Siemens	
Potencia	3 HP	

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

## c) Tornillo Sin fin N°1

- **Función:** Transporta la materia prima de la mesa alimentadora hacia el molino chancador.
- **Características técnicas:**

Tabla 15. Características técnicas de Sin fin N°1


Características técnicas		Sin fin N°1
Marca	WAM	
Año de fabricación	2 017	
Dimensiones	Largo: 4m    Ancho: 14"	
Capacidad	3000 kg/h o 60 sacos/h	
Polea conducida	4"	
Eje	1 ½"	
Hélice	18 aspas	
Faja de transmisión	N° 50	
Chumaceras de pared	2 "	
Motor reductor		
Marca	Delcrosa	
Potencia	2 HP	
Polea motriz	87 "	

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019

## d) Tornillo Sin fin cerrado N°2

- **Función:** Transporta la sal con altas temperaturas del secador hacia el molino refinador.
- **Características técnicas**

Tabla 16. Características técnicas de Sin fin N°2


Características técnicas		Sin fin N°2
Año de fabricación	2 014	
Marca	WAM	
Dimensiones	Largo: 3 m    Ancho: 10''	
Capacidad	3000 kg/h o 60 sacos/h	
Eje	2 ½"	
Hélice	16 aspas	
Polea conducida	7"	
Faja de transmisión	N°53	
Chumaceras de pared	1 ½"	
Motor reductor		
Marca	Delcrosa	
Potencia	2 HP	
Polea motriz	5 "	

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

## e) Tornillo Sin fin N°3

- **Función:** Transporta la sal refinada al enfriador
- **Características técnicas**

Tabla 17. Características técnicas de sin fin N°3

Características técnicas		Sin fin N° 3
Marca	WAM	
Año de fabricación	2 016	
Dimensiones	Largo: 3 m	
	Ancho 10"	
Capacidad	3000 kg/h o 60 sacos/h	
Chumaceras de pared	1 ½"	
Eje	1 ½"	
Hélice	14 aspas	
Polea conducida	8"	
Fajas de transmisión	N°50	
Chumacera eje sin fin	1 ½"	
Motor reductor		
Marca	Delcrosa	
Potencia	2HP	
Polea motriz	8"	

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.

## f) Mesa impulsadora de secador

- **Función:** Recepciona la sal en roca del molino chancador e impulsa el material al secador.
- **Características técnicas**

Tabla 18. Características técnicas de la mesa impulsadora de secador

Características técnicas	
Marca	Sin marca
Año de fabricación	2 013
Capacidad	3000 kg/h o 50 sacos/h
Eje de excéntrica	1 ½"
Polea	16 "
Faja	A75
Motor	
Marca	Sin identificar
Potencia	1 HP

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.




## g) Secador

- **Función:** Elimina la humedad de la sal a una temperatura aproximada de 100°C-110°C, la deja más fraccionada y a una temperatura muy alta.
- **Características técnicas**

Tabla 19. Características técnicas del Secador

Características técnicas		Secador
Marca	Fabricación local	
Año de fabricación	2 012	
Dimensiones	Largo: 6m	
	Diámetro: 170 cm	
Capacidad	3000 kg/h o 60 sacos/h	
Paletas (18)	Largo: 50 cm	
	Ancho: 10 cm	
Catalina	118 dientes	
Piñón conducido	53 dientes	
Guías de entrada y salida	Ancho: 10 cm	
	Altura: 2"	
Chumacera partida(8)	1 ½"	
Polines(4)	Ancho : 10 cm	
	Diámetro: 4"	
Motor reductor		
Potencia	5 HP	
Piñón motriz	15 dientes	
Calderas		
Dimensiones	Largo: 1,20 cm	
	Ancho: 40 cm	
Motor (3)	1 HP	
Marca de motor	Kraftman	
Ventiladores	3 paletas	




Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.

### h) Molino chancador

- **Función:** Recepciona la sal del sin fin N°1 y realizar una pre-molienda para reducir el tamaño de la gema.
- **Características técnicas**

**Tabla 20. Características técnicas se Molino chancador**


Carácterísticas técnicas		Molino chancador
Marca	Triunfo	
Dimensiones	Largo: 3m	
	Ancho : 5 m	
Año de fabricación	2 012	
Capacidad	3000 kg/h o 60 sacos/h	
Chumaceras partidas	2"	
Martillos	56	
Polea conducida	8"	
Fajas de transmisión (4)	N°109	
Cribas	10 mm	
Motor		
Marca	Weg	
Potencia	15 HP	
Polea motriz	4"	

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.

### i) Molino refinador

- **Función:** Recepciona la sal del sin fin N°2 y refinar la sal en partículas muy pequeñas de acuerdo con la granulometría establecida.
- **Características técnicas:**

**Tabla 21. Características técnicas del molino refinador**


Características técnicas		Molino refinador
Marca	Triunfo	
Año de fabricación	2 014	
Capacidad	3000 kg/h o 60 sacos/h	
Criba	1,5 mm	
Martillos	80	
Chumaceras partidas (2)	2 "	
Polea conducida	8 "	
Ejes (2)	2 "	
Fajas de transmisión (4)	N° B95	
Rodaje de motor	6211-RS	
Motor reductor		
Marca	Weg	
Potencia	30 HP	
Polea motriz	4"	

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.

### j) Enfriador

- **Función:** Realiza el secado final de la sal con aire a temperatura ambiente, girándola para enfriarla de las altas temperaturas de las que fue expuesta anteriormente.
- **Características técnicas**

**Tabla 22. Características técnicas de Enfriador**


Características técnicas		Enfriador
Marca	Sin marca	
Año de fabricación	2 016	
Dimensiones	Largo: 4m	
	Ancho: 1m	
Capacidad	3000 kg/h o 60 sacos/h	
Chumaceras	Chumaceras 1 1/4"	
Polín	Largo: 10 cm	
	Ancho: 4 cm	
Polines con eje (2)	1 1/2" con desbaste a 1 1/4"	
	Rodaje 6306	
Motor reductor	4 HP	
Piñón de enfriador	18 dientes	
Chumaceras (2)	1 1/2"	
Piñón intermedio	12 dientes	
Motor reductor		
Marca	Siemens	
Potencia	4 HP	

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

### k) Tamizadora

- **Función:** Clasifica el grano de sal por una malla de acuerdo con la granulometría adecuada de 595  $\mu\text{m}$ , a través de movimientos vibratorios. Tiene dos compartimientos, en el primero cae la sal refinada clasificada, mientras que en el segundo caen los granos más gruesos llevados a reproceso.
- **Características técnicas**

**Tabla 23. Características técnicas de Tamizadora**


Características técnicas		Tamizadora
Año de fabricación	2 018	
Marca	Sin identificar	
Dimensiones	Largo: 2 m    Ancho: 96 cm	
Capacidad	3000 kg/h o 60 sacos/h	
Malla	Acero inoxidable N°14	
Polea conducida	4" en A	
Eje excéntrico	1,5"	
Resorte	2"	
Chumacera de pared(2)	1,5"	
Motor		
Marca	Delcrosa	
Potencia	1 HP	
Polea motriz	4" en A	

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

### l) Elevador de cangilones

- a) **Función:** Recepciona y transporta la sal enfriada del secador de cilindro rotatorio N°2 por sus conductos para que pueda pasar hacia el tamizador.

**Tabla 24. Características técnicas del elevador de cangilones**

Características técnicas		Elevador de cangilones
Marca	Rexnord	
Año de fabricación	2 014	
Dimensiones	Altura: 4m	
Capacidad	3000 kg/h o 60 sacos/h	
Cangilones	28	
Polines (2)	10 "	
Chumaceras partidas	1 ½"	
Banda transportadora	8,5 m	
Faja de transmisión	N°64	
Polea conducida	4 "	
Chumaceras de pared	1 ¼"	
Motor reductor		
Marca	Siemens	
Potencia	3 HP	
Polea motriz	8"	

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019

### 3.1.7 Análisis de la cantidad de fallas

Se analizó la cantidad de fallas por máquinas y equipos de la línea de producción de sal seca. Dicha información se obtuvo del registro de fallas de las máquinas proporcionado por el jefe de producción de la empresa, las cuales ocurrieron en el año 2019. (Ver Anexo 1)

**Tabla 25. Motivo de las fallas del Secador**

Máquina	Descripción de falla	N° de fallas	Tiempo de paro (h)
Secador	Cambio de estructura cubierta metálica	3	16,19
	Polines desgastados	2	12
	Rotura de paletas de ventilador de calderas	2	10
	Falta de lubricación de los rodamientos	4	17
	Cambio de engranaje	1	24
	Guías desgastadas	3	15
	Soldadura en estructura	4	16,2
	Motor sobrecalentado	1	8
	Desalineamiento de piñones	5	23
	Rebobinado de motor	3	13
<b>Total</b>		<b>28</b>	<b>154,39</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.



En la Tabla 25, se observa que el Secador tuvo un total de 28 fallas lo cual representaron 154,39 horas de paro en la producción, siendo las fallas más frecuentes el cambio de estructura, el cambio de engranaje y la falta de lubricación de rodamientos.

**Tabla 26. Motivo de las fallas del Molino Refinador**

<b>Máquina</b>	<b>Motivo de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro(h)</b>
Molino Refinador	Martillos desgastados	3	20
	Cambio de martillos	1	8
	Desgaste de cribas	2	13,3
	Falta de lubricación	3	8
	Rotura de fajas de transmisión	4	14,4
	Desgate de poleas	2	7
	Discos desgastados	4	26,45
<b>Total</b>		<b>19</b>	<b>97,15</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.

En la Tabla 26, se observa que el Molino Refinador tuvo un total de 19 fallas y representaron 97,15 horas de paro en la producción, siendo las más frecuentes el desgaste de martillos, poleas y discos.

**Tabla 27. Motivo de las fallas del Molino Chancador**

<b>Máquina</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro(h)</b>
Molino Chancador 15HP	Rotura de fajas de transmisión	4	12
	Discos desgastados	2	15
	Atasco de material	1	8
	Rotura de cribas	2	11,74
	Pieza desoldada	2	6,3
	Motor sobrecalentado	1	5
	Chumaceras desgastadas	1	8
	Desgaste de poleas	2	12,74
	Cambio de martillos	1	7
	Desgaste de martillos	3	15
<b>Total</b>		<b>19</b>	<b>100,78</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.

En la Tabla 27, se observa que el Molino Chancador tuvo un total de 19 fallas lo cual representaron 100,78 horas de paro en la producción, siendo las fallas más frecuentes el desgaste de poleas, desgaste de discos y el atasco de material.

**Tabla 28. Motivo de las fallas del Elevador de Cangilones**

<b>Máquina</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro(h)</b>
Elevador de cangilones	Rotura de faja	2	16
	Cangilones sueltos	4	29,17
	Desgaste de poleas	2	14
	Rotura de faja de transmisión	4	21
	Motor se quemó	1	6
	Falta de lubricación en chumaceras	3	12,32
<b>Total</b>		<b>16</b>	<b>98,49</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.

En la Tabla 28, se observa que el Elevador de Cangilones tuvo un total de 16 fallas lo cual representaron 106,49 horas de paro en la producción, siendo las causas principales de las fallas los cangilones sueltos, la rotura de faja, la falta de lubricación en chumaceras y la tura de fajas de transmisión.

**Tabla 29. Motivo de las fallas del Tornillo Sin Fin N°1**

<b>Máquina</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro(h)</b>
Tornillo Sin Fin N°1	Soldadura de aspa	1	4
	Atasco de material	2	13
	Desgaste de fajas de transmisión de motor	1	4,3
	Desgaste de chumaceras	1	5,3
<b>Total</b>		<b>5</b>	<b>26,6</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.

En la Tabla 29, se observa que el Tornillo Sin fin N°1 tuvo un total de 5 fallas lo cual representaron 26,6 horas de paro en la producción, siendo las causas principales de las fallas el atasco de material, el desgaste de chumaceras y fajas de transmisión.

**Tabla 30. Motivo de las fallas del Tornillo Sin Fin N°2**

<b>Máquina</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro(h)</b>
Tornillo Sin Fin N°2	Falta de lubricación de rodamientos	3	4
	Desgaste de chumaceras	1	8
	Atasco de material	5	29,2
	Rotura de eje	1	8
	Rotura de fajas de transmisión	4	12
	Cambio de aceite de motor	2	8
	Soldadura de aspas de helicoidal	2	14
	Poleas desgastadas	1	7
	<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>90,20</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.

En la Tabla 30, se observa que el Tornillo Sin fin N°2 tuvo un total de 19 fallas lo cual representaron 90,20 horas de paro en la producción, siendo las causas principales de las fallas el atasco de material, el desgaste de poleas, el cambio de aceite de motor, la rotura de eje y la soldadura de aspas.

**Tabla 31. Motivo de las fallas del Tornillo Sin fin N°3**

<b>Máquina</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro(h)</b>
Tornillo Sin Fin N°3	Motor quemado	1	8
	Chumaceras desgastadas	2	10,46
	Cambio de aceite de motor	1	5,19
	Rotura de fajas de transmisión	1	5
	Soldadura de helicoidal	1	8
<b>Total</b>		<b>6</b>	<b>36,65</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.

En la Tabla 31, se observa que el Tornillo Sin fin N°3 tuvo un total de 6 fallas lo cual representaron 36,65 horas de paro en la producción, siendo las causas principales de las fallas las chumaceras desgastadas, el motor quemado y la soldadura de aspa

**Tabla 32. Motivo de las fallas de la Tamizadora**

<b>Máquina</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro(h)</b>
Tamizadora	Vibraciones excesivas	1	3
	Rotura de faja de transmisión de motor	1	5
	Desgaste de chumaceras	1	5
	Motor dañado	1	8
	Rotura de mallas	2	14
<b>Total</b>		<b>6</b>	<b>35</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.

En la Tabla 32, se observa que la tamizadora tuvo un total de 6 fallas lo cual representaron 35 horas de paro en la producción, siendo las causas principales de las fallas la rotura de mallas, daño en motor y desgaste de chumaceras.

**Tabla 33. Motivo de las fallas del Enfriador**

<b>Máquina</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro(h)</b>
Enfriador	Motor sobrecalentado	1	5
	Polines desalineados	2	144
	Desgaste de polines	2	10,1
	Rotura de fajas de transmisión de motor	2	16
	Desalineamiento de piñones	1	3,29
	Guías desgastadas	1	6
<b>Total</b>		<b>9</b>	<b>51,39</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.

En la Tabla 33, se observa que el enfriador tuvo un total de 9 fallas lo cual representaron 51,39 horas de paro en la producción, siendo las causas principales de las fallas es el desgaste y desalineación de polines; y la rotura de fajas de transmisión de motor.

**Tabla 34. Motivo de fallas de la Mesa alimentadora**

<b>Máquina</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro(h)</b>
Mesa Alimentadora	Flejes desgastados	1	5,13
	Cambio de ejes	1	2
	Rotura de fajas	1	5
<b>Total</b>		<b>3</b>	<b>12,13</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.

En la Tabla 34, se observa que la mesa alimentadora tuvo un total de 3 fallas lo cual representaron 12,13 horas de paro en la producción, siendo las causas principales de las fallas los flejes desgastados, el cambio de ejes y la rotura de fajas.

**Tabla 35.Motivo de fallas de la Mesa impulsadora de secador**

<b>Máquina</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro(h)</b>
Mesa Impulsadora de Secador	Motor sobrecalentado	1	8
	Rotura de fajas de transmisión	1	5,3
	Rotura de flejes	1	5
	Desgaste de chumaceras	1	6
<b>Total</b>		<b>4</b>	<b>24,3</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.

En la Tabla 35, se observa que la Mesa Impulsadora de Secador tuvo un total de 4 fallas lo cual representaron 24,3 horas de paro en la producción, siendo las causas principales de las fallas la rotura de fajas de transmisión, la rotura de flejes, el desgaste de chumaceras y la sobrecarga de motor.

**Tabla 36. Motivo de las fallas de las cosedoras**

<b>Equipo</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro(h)</b>
Cosedoras	Corte de electricidad	1	2
	Cambio de selladoras	1	3
	Motor recalentado	1	2
<b>Total</b>		<b>3</b>	<b>7</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.

En la Tabla 36, se observa que las cosedoras tuvieron un total de 3 fallas lo cual representaron 7 horas de paro en la producción, siendo las causas principales de las fallas el corte de electricidad, el cambio de selladoras y el motor recalentado.

**Tabla 37. Motivo de las fallas de la balanza**

Equipo	Motivo de falla	N° de fallas	Tiempo de paro(h)
Balanza	Falta de calibración	1	5

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

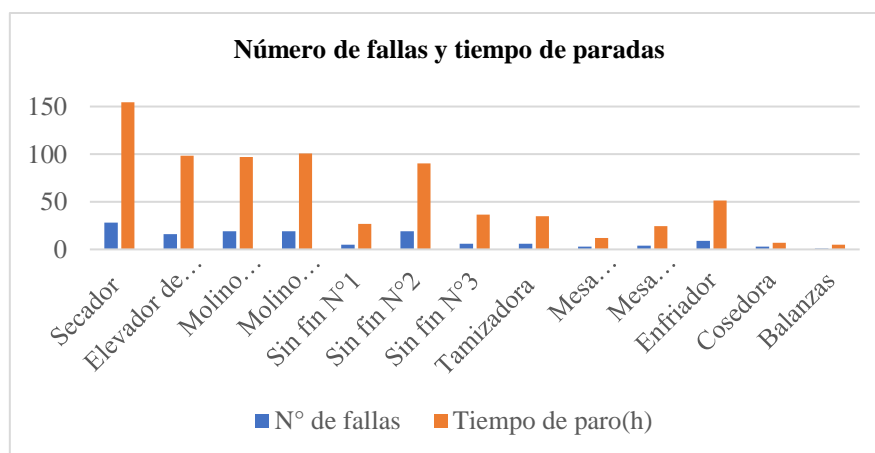
En la Tabla 37, se observa que la balanza presentó 1 falla lo cual representó 5 horas de paro en la producción debido a la falta de calibración.

Por lo tanto, según la información recopilada, se resumen en la Tabla 38 y Figura 19, el número total de fallas por máquinas las cuales fueron 138 fallas y el tiempo de reparación que conlleva cada una, lo cual fue un total de 739,08 horas.

**Tabla 38. Resumen del número de fallas y el tiempo de paro**

Máquinas y equipos	N° de fallas	Tiempo de parada(h)
Secador	28	154,39
Elevador de Cangilones	16	98,49
Molino Refinador	19	97,15
Molino chancador	19	100,78
Tornillo Sin Fin N°1	5	26,60
Tornillo Sin Fin N°2	19	90,20
Tornillo Sin Fin N°3	6	36,65
Tamizadora	6	35,00
Mesa Alimentadora	3	12,13
Mesa Impulsadora de Secador	4	24,30
Enfriador	9	51,39
Cosedora	3	7,00
Balanzas	1	5,00
<b>Total</b>	<b>138</b>	<b>739,08</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.

**Figura 19. Resumen del número de fallas y tiempo de paradas**

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.

### 3.1.8 Costo de mantenimiento

En la Tabla 39, se detalla el costo de mano de obra anual realizado por los dos encargados de mantenimiento de la empresa, los cuales solucionan las fallas de las máquinas con acciones correctivas.

**Tabla 39. Costo de mano de obra en el año 2019**

Cargo	Cantidad	Sueldo mensual	Asignación familiar	Gratificación	CTS	Costo anual	Provisión mensual
Mecánico	1	S/ 1 400	S/ 93	S/ 2 986	S/ 1 493	S/ 2 2395	S/ 1 866,25
Electricista	1	S/ 1 200	S/ 93	S/ 2 586	S/ 1 293	S/ 1 9395	S/ 1 616,25

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

En la tabla 40, se detalla los costos realizados para el mantenimiento correctivo de máquinas y equipos en el año 2019 debido a las constantes fallas que se presentaron, estos costos incluyen repuestos, materiales y mano de obra anual, siendo un total de S/ 98 154,90 al año (Ver detalles en Anexo 1)

**Tabla 40. Costos de mantenimiento de máquinas y equipos**

Máquinas y equipos	Costo (S/)
Secador	S/ 24 573,36
Molino Refinador	S/ 6 900,02
Molino Chancador	S/ 8 588,00
Elevador Cangilones	S/ 4 175,00
Tornillo Sin fin 1	S/ 814,42
Tornillo Sin fin 2	S/ 1 950,26
Tornillo Sin fin 3	S/ 1 245,84
Mesa Alimentadora	S/ 274,00
Mesa Impulsadora de Secador	S/ 438,00
Enfriador	S/ 5 012,00
Cosedora	S/ 610,00
Balanza	S/ 100,00
Tamizadora	S/ 1 684,00
<b>Costo total de repuestos, piezas y otros</b>	<b>S/ 56 364,90</b>
<b>Costo de mano de obra de mecánico</b>	<b>S/ 22 395,00</b>
<b>Costo de mano de obra de electricista</b>	<b>S/ 19 395,00</b>
<b>Costo total de mantenimiento</b>	<b>S/ 98 154,90</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

### 3.1.9 Indicadores de mantenimiento

- a) Los indicadores de mantenimiento evalúan el comportamiento operacional de las máquinas y permiten implementar un plan de mantenimiento dirigido a disminuir las fallas ocurridas en esta área, por lo tanto, los indicadores requeridos fueron: el tiempo medio hasta el fallo (MTTF), tiempo promedio de reparación (MTTR), disponibilidad (D), la tasa de ejecución, la calidad y el Overall Equipment Effectiveness (OEE).

### b) Tiempo promedio operativo hasta el fallo-MTTF (Confiabilidad)

En la Tabla 41, se analizó el tiempo promedio hasta el fallo que es capaz de operar cada máquina y equipo sin interrupciones, para lo cual se necesitó calcular el tiempo total de operación (TTO).

**Tabla 41. Tiempo promedio hasta el fallo de cada máquina y equipo**

Máquina	Tiempo total programado para producción(h)	Tiempo total inactividad(h)	TTO(h)	N° de fallas	MTTF(h)
Secador	2 496	154,39	2341,61	28	84
Elevador de Cangilones	2 496	98,49	2 398	16	150
Molino Refinador	2 496	97,15	2 399	19	126
Molino Chancador	2 496	100,78	2 395	19	126
Tornillo Sin Fin N°1	2 496	26,60	2 469	5	494
Tornillo Sin Fin N°2	2 496	90,20	2 406	19	127
Tornillo Sin Fin N°3	2 496	36,65	2 459	6	410
Tamizadora	2 496	35,00	2 461	6	410
Mesa alimentadora	2 496	12,13	2 484	3	828
Mesa impulsadora de secador	2 496	24,30	2 472	4	618
Enfriador	2 496	51,39	2 445	9	272
Selladoras	2 496	7,00	2 489	3	830
Balanzas	2 496	5,00	2 491	1	2491
<b>Total</b>	<b>2 496</b>	<b>739,08</b>	<b>1 757</b>	<b>138</b>	<b>12,73</b>

Fuente: Elaboración propia. En base a Gemar Group E. I. R. L., 2019.

En la Tabla 41, para el tiempo total programado de producción se consideró un total de 2 496 horas debido a que a empresa trabaja 1 turno de 8 horas al día, 26 días al mes y 12 meses al año, sin embargo, para el tiempo total de inactividad se consideró al tiempo de parada de las máquinas y equipos hasta su reparación el cual fue 739,08.

Por lo tanto, con los datos anteriores, se obtuvo el MTTF total de las máquinas y equipos teniendo lo siguientes datos:

$$MTTF = \frac{\text{Tiempo total de Operación hasta el fallo(TTO)}}{\text{Número de fallas totales}}$$

$$MTTF = \frac{(2\,496h - 739,08h)}{138\text{ fallas}}$$

$$MTTF = 12,73\text{ h}$$

Obteniendo así, que cada 12,73 horas se origina una falla.

### c) Tiempo promedio de reparación (MTTR)

En la Tabla 42, se analizó el tiempo promedio de reparación o MTTR de cada máquina.

**Tabla 42. Tiempo promedio de reparación de cada máquina y equipo**

Máquinas y equipos	Tiempo total inactividad(h)	Nº de fallas	MTTR(h)
Secador	154,39	28	6
Elevador de Cangilones	98,49	16	6
Molino Refinador	97,15	19	5
Molino Chancador	100,78	19	5
Tornillo Sin Fin N°1	26,60	5	5
Tornillo Sin Fin N°2	90,20	19	5
Tornillo Sin Fin N°3	36,65	6	6
Tamizadora	35,00	6	6
Mesa Alimentadora	12,13	3	4
Mesa impulsadora de secador	24,30	4	6
Enfriador	51,39	9	6
Cosedoras	7,00	3	2
Balanzas	5,00	1	5
<b>Total</b>	<b>739,08</b>	<b>138</b>	<b>5,36</b>

Fuente: Elaboración propia. En base a Gemar Group E. I. R. L., 2019.

Por lo tanto, con los datos anteriores, se consideró el tiempo total de inactividad de 739,08h y el número total de fallas de 138 fallas para calcular el MTTR total de las máquinas, lo cual se obtuvo lo siguiente:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total para reparar fallos}}{\text{Número total de fallos}} = \frac{\sum TTR}{n}$$

$$MTTR = \frac{739,08 \text{ h}}{138 \text{ fallas}}$$

$$MTTR = 5,36 \text{ h}$$

Obteniendo así, un promedio de 5,36 horas de reparación por falla



#### d) Disponibilidad operativa

Se analizó la disponibilidad operativa de acuerdo con los datos calculados anteriormente del total de las horas programadas para la producción y del tiempo total de inactividad.

$$\text{Disponibilidad operativa} = \frac{\text{horas operativas} - \text{horas inoperativas}}{\text{horas operativas}} \times 100$$

$$\text{Disponibilidad operativa} = \frac{2\,496 - 739,08}{2\,496} \times 100$$

$$\text{Disponibilidad operativa} = 70,39 \%$$

Se obtiene que la empresa tiene una disponibilidad en sus máquinas del 70,39 %, indicando que no es confiable debido a las constantes paradas de la línea de producción, ya que según Emerson Procces Management indica que por ser un proceso Batch y tener una producción con un intervalo de 8 horas al día, se encuentra en el peor cuartil, lo cual indica que con la mejora esta situación aumentaría la disponibilidad y se ubicaría en un 2 do cuartil(81%-90%) o en el mejor de los casos a un mejor cuartil el cual es >90% .( Ver tabla 2)

#### e) Tasa de ejecución

Este indicador, relaciona la producción ideal de las máquinas estando en los estándares adecuados, con la producción real de la empresa.

Por lo tanto, en la Tabla 43, se muestra la producción histórica de sacos sal seca de 50 kg, desde el año 2017 a 2019, cuyos datos fueron brindados por el jefe de producción de la empresa.

**Tabla 43. Producción de sacos de sal seca de 50 kg**

Mes	2 017	2 018	2 019
Enero	4 711	9 764	9 952
Febrero	6 667	8 983	9 163
Marzo	8 741	7 780	7 936
Abril	8 532	9 695	9 489
Mayo	5 973	8 541	8 390
Junio	5 627	9 126	7 309
Julio	8 475	7 953	8 112
Agosto	6 505	8 906	9 084
Septiembre	7 687	7 787	7 943
Octubre	5 383	8 895	9 073
Noviembre	8 012	9 692	9 856
Diciembre	7 732	8 935	9 110
<b>Total</b>	<b>84 045</b>	<b>106 057</b>	<b>105 416</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.,2019.

En la Tabla 43, se observa que tuvo una producción de sacos de sal de 50 kg en el año 2017 de 84 045 sacos, mientras que en el 2018 aumentó su producción a 106 057 sacos, sin embargo, en el 2019 disminuyó a 105 416 sacos, debido a las constantes paradas de su línea de producción.

Finalmente considerando la producción del año 2019 y teniendo en cuenta que la empresa produce 60 sacos/hora y trabaja 8 horas/día, por 6 días/semana, por 26 días/mes y siguiendo condiciones óptimas de producción se espera tener 12 480 sacos/mes, por lo cual, en 12 meses o en un año se obtiene 149 760 sacos/año; calculando así la tasa de ejecución de dicho proceso.

$$Tasa\ de\ Ejecución = \frac{Producción\ real}{Producción\ ideal} \times 100$$

$$Tasa\ de\ Ejecución = \frac{105\ 416\ sacos}{149\ 760} \times 100$$

$$Tasa\ de\ Ejecución = 70,39\ \%$$

Se obtuvo así, una tasa de ejecución de las máquinas en el año 2019 de 70,39%.

#### f) Calidad:

Este indicador, relaciona el producto en perfectas condiciones con la producción real de la empresa. Por lo tanto, en la Tabla 44, se muestra los productos registrados no conformes o defectuosos de sacos de sal de 50 kg a causa de las fallas de las máquinas en la etapa de secado y molienda del año 2019.

**Tabla 44. Sacos de sal de 50 kg conformes y no conformes**

<b>Producción (sacos)</b>	<b>No conforme (sacos)</b>	<b>Conforme (sacos)</b>
9 952	1 000	8 952
9 163	1 911	7 252
7 936	1 635	6 301
9 489	1 790	7 699
8 390	1 512	6 878
7 309	1 778	5 531
8 112	1 421	6 691
9 084	1 835	7 249
7 943	1 560	6 383
9 073	1 825	7 248
9 856	552	9 304
9 110	589	8 521
<b>105 416</b>	<b>17 408</b>	<b>88 008</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

Por lo tanto, se tuvo un total de 17 408 sacos no conformes y 88 008 sacos conformes de sal de 50 kg, con lo que se obtiene lo siguiente:

$$Calidad = \frac{Unidades\ Conformes}{Producción\ Real} \times 100\%$$

$$Calidad = \frac{88\ 008\ sacos}{105\ 416\ sacos} \times 100\%$$

$$Calidad = 83,49\ \%$$

Se obtuvo así, una calidad en los productos en el año 2019 de 83, 49%.

#### **g) Overall Equipment Effectiveness (OEE)**

Al tener los indicadores de tasa de ejecución, calidad y disponibilidad, se procede a calcular el indicador de eficiencia global de las máquinas, en el cual se utiliza la siguiente formula:

$$OEE = Disponibilidad * Tasa\ de\ Ejecución * Calidad$$

$$OEE = 70,39 \times 70,38\% \times 83,49\%$$

$$OEE = 41,36\ \%$$

Se obtuvo así, una eficiencia en la utilización de las máquinas durante la producción de sacos de sal seca de 50 kg de 41, 36 %, la cual se califica como inaceptable, ya tiene una efectividad baja y ocasiona importantes pérdidas económicas a la empresa.

#### **3.1.10 Impacto económico actual**

Para conocer esta pérdida es necesario saber el costo de producción de un saco de sal de 50 kg, el cual se calculó de acuerdo con la información brindada por la empresa y teniendo en cuenta que hace sus pedidos de materiales semanales. Este costo fue de S/ 10,76, sin embargo, ofrece su producto en el mercado a un precio de venta de S/ 16, generándole así una utilidad S/5,24 por saco. (Ver Tabla 45)

**Tabla 45. Costos de producción para elaboración de sal refinada**

Material	Unidad	Cantidad	Costo	
Materiales directos				
Sal en roca	kg	55	S/.	7,2
yodo	kg	0,00167	S/.	0,2
agua	m <sup>3</sup>	0,02004	S/.	0,000046
Materiales indirectos				
Saco	unidad	1	S/.	0,600
Pabilo	unidad	0,001395	S/.	0,209
GLP	gal	0,0694	S/.	0,549
Energía	kW	0,072	S/.	0,195
Carbón	kg	0,3471	S/.	0,156
Costo total de materiales directos e indirectos			S/.	9,1090
Mano de obra			S/.	1,65
Costo de producción			S/.	10,76
Precio de venta			S/.	16,00
Utilidad			S/.	5,24

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

**3.1.10.1 Utilidades brutas percibidas**

Teniendo el precio de venta y el costo producción para un saco de 50 kg, en la Tabla 46, se calculó el ingreso por ventas realizado en el año 2019 respecto a la producción total conforme registrada, la cual fue de 88 008 sacos de sal, para lo que se necesitó un costo de producción de S/ 946 966 y se vendió a S/ 1 408 128 generándole un total de utilidad bruta de S/. 552 380,25 al año.

**Tabla 46. Utilidades brutas percibidas en el año 2019**

Mes	Producción conforme (sacos de 50 kg)	Ingreso por ventas (S/)	Costo Producción (S)	Utilidad percibida (S/)
Enero	8 952	S/ 143 236,48	S/ 96 326,53	S/ 46 909,95
Febrero	7 252	S/ 116 026,56	S/ 78 027,86	S/ 37 998,70
Marzo	6 301	S/ 100 809,60	S/ 67 794,46	S/ 33 015,14
Abril	7 699	S/ 123 182,40	S/ 82 840,16	S/ 40 342,24
Mayo	6 878	S/ 110 054,40	S/ 74 011,58	S/ 36 042,82
Junio	5 531	S/ 88 488,32	S/ 59 508,40	S/ 28 979,92
Julio	6 691	S/ 107 056,96	S/ 71 995,81	S/ 35 061,15
Agosto	7 249	S/ 115 985,92	S/ 78 000,53	S/ 37 985,39
Septiembre	6 383	S/ 102 123,84	S/ 68 678,28	S/ 33 445,56
Octubre	7 248	S/ 115 966,40	S/ 77 987,40	S/ 37 979,00
Noviembre	9 304	S/ 148 861,44	S/ 100 109,32	S/ 48 752,12
Diciembre	8 521	S/ 13 6336,00	S/ 91 685,96	S/ 44 650,04
<b>Total</b>	<b>88 008</b>	<b>S/ 1 408 128,32</b>	<b>S/ 946 966,30</b>	<b>S/ 461 162,02</b>

Fuente: Elaboración propia. En base a Gemar Group E. I. R. L., 2019.

### 3.1.10.2 Utilidades no percibidas

Para las utilidades no percibidas, causadas por la falta de mantenimiento preventivo, fueron calculadas en la Tabla 47 y 48, respecto a las constantes paradas producidas por las fallas de las máquinas y equipos en la línea de producción de sal seca de 50 kg y por los productos defectuosos de la etapa de secado y molienda. Para solucionar dicho problema se propondrá un plan de mantenimiento preventivo en la empresa Gemar Group E. I. R. L., para lograr incrementar la eficiencia total de las máquinas y por ende disminuir sus utilidades no percibidas.

**Tabla 47. Utilidades no percibidas por las horas de paradas**

Máquina y equipos	Tiempo de paradas(h)	Producción esperada(sacos/h)	Total no producido (sacos)	Utilidad (S// saco)	Utilidades no percibidas(S/)
Secador	154,39	60	9 263	5,24	48 540,22
Elevador de cangilones	98,49	60	5 909	5,24	30 965,26
Molino refinador	97,15	60	5 829	5,24	305 43,96
Molino chancador	100,78	60	6 047	5,24	316 85,23
Sin fin N°1	26,60	60	1 596	5,24	8 363,04
Sin fin N°2	90,20	60	5 412	5,24	28 358,88
Sin fin N°3	36,65	60	2 199	5,24	11 522,76
Tamizadora	35,00	60	2 100	5,24	11 004,00
Mesa alimentadora	12,13	60	728	5,24	3 813,67
Mesa impulsadora de secador	24,30	60	1 458	5,24	7 639,92
Enfriador	51,39	60	3 083	5,24	16 157,02
Selladoras	7,00	60	420	5,24	2 200,80
Balanzas	5,00	60	300	5,24	1 572,00
<b>Total (S/)</b>					<b>S/ 232 366,75</b>

Fuente: Elaboración propia. En base a Gemar Group E. I. R. L., 2019.

**Tabla 48. Utilidades no percibidas por productos defectuosos**

Producción defectuosa (sacos de 50 kg)	Utilidad (S/)	Utilidades no percibidas (S/)
1 000	S/ 5,24	S/ 5 240,00
1 911	S/ 5,24	S/ 10 013,64
1 635	S/ 5,24	S/ 8 567,40
1 790	S/ 5,24	S/ 9 379,60
1 512	S/ 5,24	S/ 7 922,88
1 778	S/ 5,24	S/ 9 316,72
1 421	S/ 5,24	S/ 7 446,04
1 835	S/ 5,24	S/ 9 615,40
1 560	S/ 5,24	S/ 8 174,40
1 825	S/ 5,24	S/ 9 563,00
552	S/ 5,24	S/ 28 92,48
589	S/ 5,24	S/ 30 86,36
<b>17 408</b>	<b>5,24</b>	<b>S/ 91 217,92</b>

Fuente: Elaboración propia. En base a Gemar Group E. I. R. L., 2019.

Por lo tanto, teniendo las utilidades no percibidas de los sacos de 50 kg no producidos por las horas de parada y el total de productos defectuosos debido a las fallas de las máquinas en la línea de producción, se calculó en el Tabla 49, las utilidades no percibidas totales.

**Tabla 49. Utilidades no percibidas totales**

<b>Utilidades no percibidas totales</b>	<b>Utilidades no percibidas por productos defectuosos</b>	<b>Utilidades no percibidas totales</b>
S/ 232 366,75	S/ 91 217,92	S/ 323 584,67

Fuente: Elaboración propia. En base a Gemar Group E. I. R. L., 2019.

Se concluye que en el año 2019 se pierde una cantidad significativa de dinero, teniendo un total de utilidades no percibidas al año de S/323 584,67 lo cual representa un 30 % de sus utilidades perdidas respecto a sus utilidades totales esperadas.

$$Utilidades\ no\ percibidas\ (\%) = \frac{Utilidades\ no\ percibidas}{Utilidades\ totales\ esperadas} \times 100$$

$$Utilidades\ no\ percibidas\ (\%) = \frac{S/ 323\ 584,67}{S/ 323\ 584,67 + S/ 461\ 162,02} \times 100$$

$$Utilidades\ no\ percibidas\ (\%) = 41,23\ \%$$

### 3.1.11 Resumen de indicadores

En la Tabla 50, se presenta el resumen de indicadores en diagnóstico a la situación actual de la empresa, cuyos datos fueron recopilados desde el mes de enero a diciembre del 2019.

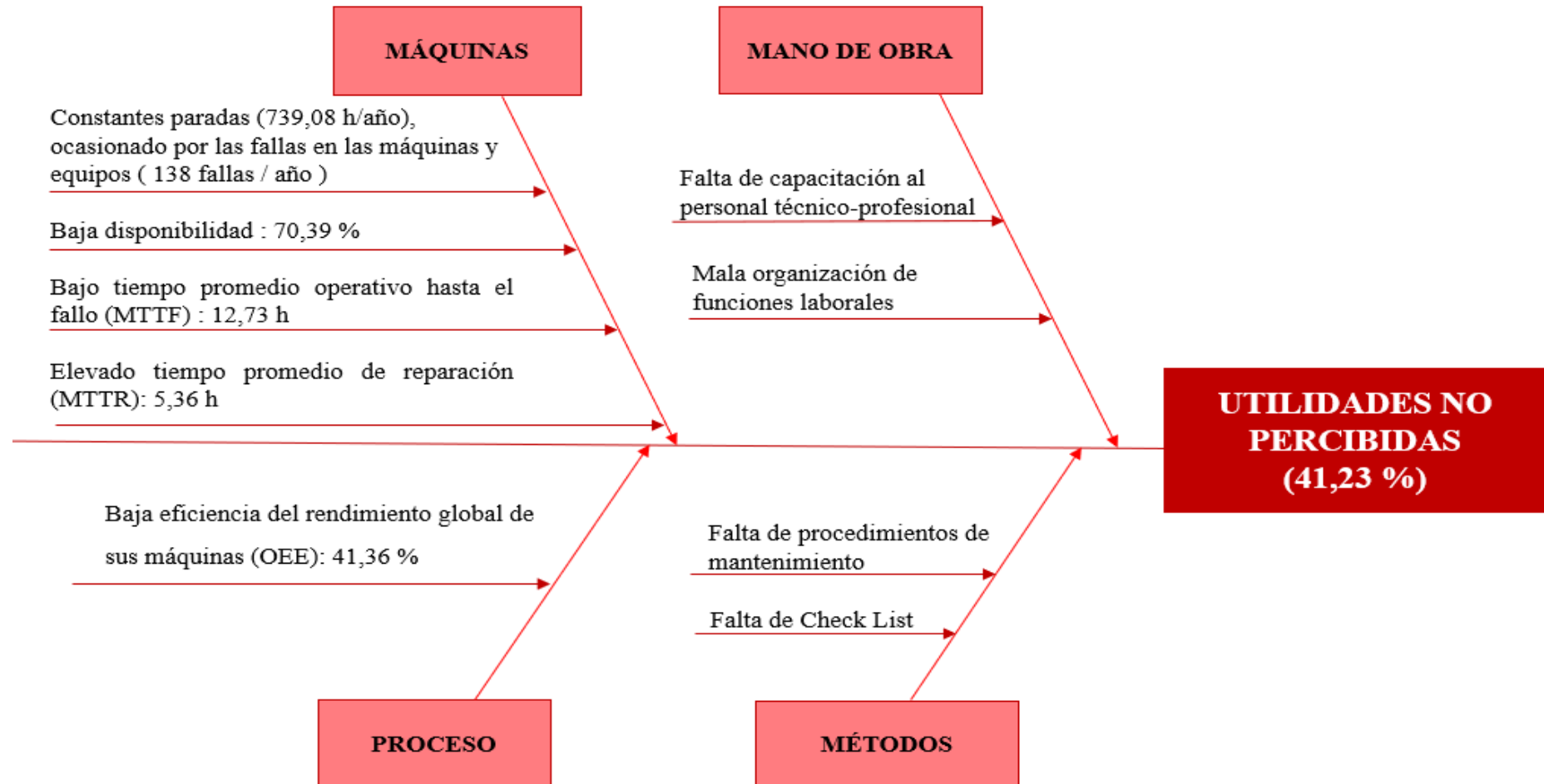
**Tabla 50. Resumen de indicadores**

Descripción	Fórmula	Indicador	Objetivo
Tiempo de paradas	$\Sigma = \text{Total de horas de parada}$	739,08 h	Disminuir el tiempo de paradas
Tiempo promedio operativo hasta el fallo (MTTF) -Confiabilidad	$\frac{\text{Tiempo total de operación hasta el fallo (TTO)}}{\text{Número de fallas totales}}$	12,73 h	Incrementar el tiempo operativo de las máquinas
Tiempo promedio de reparación (MTTR)	$\frac{\text{Tiempo total para reparar fallos}}{\text{Número total de fallos}}$	5,36 h	Disminuir el tiempo promedio fuera de servicio
Disponibilidad	$\frac{\text{horas operativas} - \text{horas inoperativas}}{\text{horas oerativas}} \times 100$	70,39 %	Incrementar la disponibilidad de las máquinas
Total OEE	$\text{Disponibilidad} \times \text{Tasa de ejecución} \times \text{Calidad}$	41,36 %	Incrementar la eficiencia global de las máquinas
Utilidad no percibida anual	$\Sigma = \text{Total de utilidades no percibidas}$	S/ 323 584,67	Disminuir las utilidades no percibidas
Porcentaje de las utilidades no percibidas respecto a las utilidades totales esperadas	$\frac{\text{Utilidades no percibidas}}{\text{Utilidades totales esperadas}} \times 100$	41,23 %	Disminuir el porcentaje de utilidades no percibidas

Fuente: Elaboración propia. En base a Gemar Group E. I. R. L.,2019.

### 3.1.12 Diagrama de Ishikawa

En la Figura 20, se muestra el diagrama de Ishikawa de las causas que generan las utilidades no percibidas por falta de mantenimiento preventivo, siendo un total de 41,23 % respecto a sus utilidades totales esperadas del año 2019.



**Figura 20. Diagrama de Ishikawa de la empresa Gemar Group E. I. R. L.**

Fuente: Elaboración propia. Fuente: Elaboración propia. En base a Gemar Group E. I. R. L., 2019.



### **3.2. PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN LA CONFIABILIDAD DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN**

Para elaborar el desarrollo de la propuesta del plan de mantenimiento, se basó en la confiabilidad o metodología RCM; cabe mencionar que se realizó previamente la matriz de decisión por factores ponderados para elegir el tipo de metodología considerando las causas de los problemas presentados en la empresa al momento de seleccionar (Ver Anexo 2).

Por lo tanto, se realizan las siguientes actividades antes de realizar el plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad:

- Realizar codificación de las máquinas operativas de la línea de producción.
- Determinar la criticidad de las máquinas de la línea de producción.
- Realizar diagrama de Pareto para resaltar las máquinas con mayor criticidad.
- Realizar análisis de Weibull para determinar la vida útil de las máquinas críticas
- Realizar árbol de fallos de las que se máquinas que se identificaron como críticas.
- Realizar el análisis del modo y efecto de los fallos (AMEF) para determinar el número de prioridad de riesgo (NPR), la cual se redujo con la propuesta de acciones de mejora.
- Realizar las hojas de decisión para las máquinas críticas, determinando las tareas a ejecutar, los encargados y la frecuencia para realizar dichas tareas.
- Al ejecutar las actividades anteriores, se llevará a cabo el plan y el cronograma de mantenimiento a realizar en las máquinas.

#### **3.2.1 Codificación de máquinas y equipos**

Gemar Group E. I. R. L no cuenta con una codificación establecida, por lo cual se elaboró una codificación siguiendo el modelo de Duffua [17], la cual consta en identificar el tipo de máquina o equipo, los componentes que pertenecen a cada una y el número consecutivo que representa. Se puede ver una codificación general en la Tabla 51 y los componentes de cada máquina crítica en las Tablas 69,70,71,72 y 73.

**Tabla 51. Codificación de máquinas y equipos**

Máquinas y equipos	Código
Secador	SEC
Elevador de Cangilones	ELV
Molino Refinador	MOR
Molino Chancador	MOC
Tornillo Sin fin N°1	SF1
Tornillo Sin fin N°2	SF2
Tornillo Sin fin N°3	SF3
Tamizadora	TAM
Mesa Alimentadora	MEA
Mesa Impulsadora de Secador	MEI
Enfriador	ENF
Cosedoras	COS
Balanzas	BAL

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2 Determinación del análisis de criticidad de las máquinas y equipos

Para el desarrollo de esta investigación se toma en cuenta el análisis de criticidad de las máquinas en la línea de producción, debido a que es una técnica que permite identificar y ponderar por su importancia los activos físicos de una empresa, sobre los cuales se obtiene una satisfacción al dirigir sus diferentes sectores según Gonzáles [16]. En la Tabla 52, se presenta el análisis de las máquinas y equipos, para determinar si son críticas o no. Se otorgó determinada ponderación de acuerdo con los criterios de la Tabla 2, lo cual fue resultado del análisis de los indicadores encontrados anteriormente; así como también, con la colaboración del Gerente Administrativo, el Jefe de Producción y los operarios que laboran en la empresa Gemar Group E. I. R. L.

Se utilizaron las siguientes fórmulas:

#### **Criticidad del riesgo: Frecuencia x Consecuencia**

$$\text{Consecuencia} = (\text{IO} \times \text{FO}) + \text{CM} + \text{SM}$$

Para calcular la consecuencia, se sumaron los puntajes obtenidos de los parámetros de costo de reparación, de impacto a la salud y seguridad del personal, de impacto ambiental y de impacto en el producto final; lo cual se sumó con el resultado de la multiplicación del impacto operacional en la producción y la flexibilidad operacional (MTTR).

**Tabla 52. Análisis de criticidad de las máquinas y equipos de Gemar Group E. I. R. L.**

PARÁMETROS DE CRITICIDAD	SEC	ELV	MOR	MOC	SF1	SF2	SF3	TAM	MEA	MEI	ENF	COS	BAL
NIVEL DE USO DE MAQUINARIA	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
FRECUENCIA DE FALLA (Todo tipo de falla)	3	3	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	1
TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN	0,75	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3
REEMPLAZO DE EQUIPOS / ACCESORIOS	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
COSTOS DE REPARACIÓN (Miles de nuevos soles)	10	5	5	5	1	3	3	3	1	1	5	1	1
IMPACTO AMBIENTAL	10	10	10	10	5	5	5	5	0	5	5	0	0
IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD DE PERSONAL	10	5	10	10	0	5	0	0	0	0	0	0	0
IMPACTO EN LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL	10	10	10	10	5	10	5	5	3	5	5	3	3
ASISTENCIA TÉCNICA	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>PUNTAJE TOTAL</b>	<b>54,75</b>	<b>44,5</b>	<b>49,5</b>	<b>49,5</b>	<b>24,3</b>	<b>37,5</b>	<b>26,3</b>	<b>26,2</b>	<b>17,3</b>	<b>24,3</b>	<b>28,3</b>	<b>16,3</b>	<b>16,3</b>
<b>CRITICIDAD DE RIESGO</b>	<b>125</b>	<b>93</b>	<b>108</b>	<b>108</b>	<b>23</b>	<b>72</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>9</b>	<b>23</b>	<b>31</b>	<b>9</b>	<b>5</b>

Fuente: Elaboración propia. En base a Gemar Group E. I. R., 2019.



Por lo tanto, según la matriz de identificación de criticidad, el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad se trabajará con las máquinas de criticidad alta de un rango de  $50 \leq a \leq 125$ , siendo estas el Secador, el Elevador de Cangilones, el Tornillo Sin Fin N°1, los Molinos Refinador y Chancador.

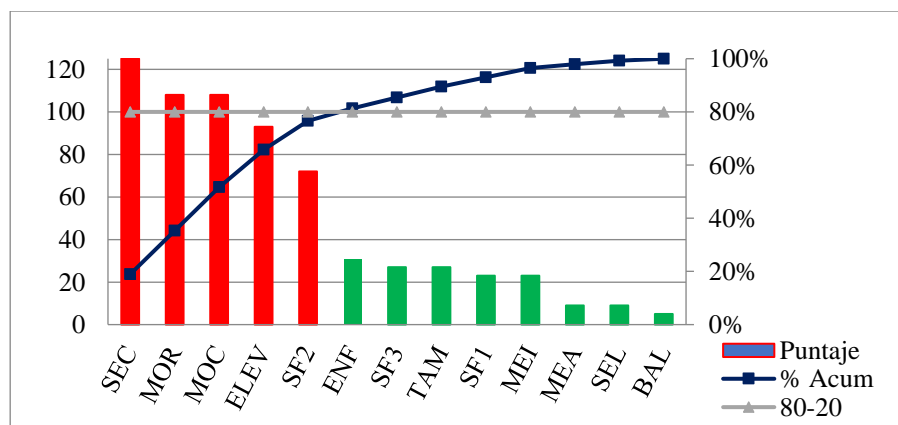
### 3.2.3 Diagrama de Pareto

En la Tabla 53 y Figura 21, se observa la máxima criticidad de las máquinas en el diagrama de Pareto, las cuales fueron ordenadas de mayor a menor puntaje, dando en el nivel A las máquinas de criticidad alta de código SEC, MOR, ELV, MOC y SF2, las cuales representan un 77% del total, siendo un dato relevante porque al intervenir inmediatamente se logrará reducir el nivel de criticidad en las máquinas en un 80 % aproximadamente y así se aumentará la disponibilidad de la línea de producción.

**Tabla 53. Análisis de Pareto de las máquinas críticas**

Máquinas y equipos	Puntaje	%	% Acum	80-20	Nivel
SEC	125	19%	19%	0,8	A
MOR	108	16%	35%	0,8	
MOC	108	16%	52%	0,8	
ELV	93	14%	66%	0,8	
SF2	72	11%	77%	0,8	
ENF	31	5%	81%	0,8	C
SF3	27	4%	85%	0,8	
TAM	27	4%	90%	0,8	
SF1	23	3%	93%	0,8	
MEI	23	3%	97%	0,8	
MEA	9	1%	98%	0,8	
COS	9	1%	99%	0,8	
BAL	5	1%	100%	0,8	
<b>Total</b>	<b>660</b>				

Fuente: Elaboración propia



**Figura 21. Criticidad de Pareto en Gemar Group E. I. R. L.**

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4 Análisis de Weibull

Se realizó la distribución de Weibull a las máquinas que fueron identificadas como críticas, para saber en qué etapa de su ciclo de vida se encuentran, así como también, para determinar con mayor exactitud el tiempo medio entre fallos y poder determinar la confiabilidad de dichas máquinas.

Por lo tanto, se utilizó la fórmula de Weibull:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Donde:

- $R(t)$ : Confiabilidad en el tiempo (t)
- $t$ : Tiempo considerado
- $\eta$ : Vida característica, la cual se define como el tiempo en el cual el 63.2% de la población habrá fallado
- $\beta$ : Factor de forma = 1, indica las fallas aleatorias

Los parámetros de la fórmula de Weibull provienen de una recta de regresión lineal a partir de un diagrama de dispersión, para lo cual se utiliza lo siguiente:

- El tiempo medio entre fallas (TBF):  $\frac{\sum TBF}{n}$
- Logaritmo del tiempo medio entre fallos:  $\ln(TBF)$
- Rango de mediana:  $F(t) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$ ; siendo  $i$  = orden de falla y  $n$  = el número total de datos de la muestra.
- Proporción de las unidades que pueden fallar a una edad (t) =  $\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right)$

A continuación, en las siguientes tablas y figuras, se muestra los datos analizados para cada máquina crítica de la distribución de Weibull.

En la Tabla 54, se muestra el análisis de datos utilizados para el Secador, con los cuales se determinaron los parámetros de Weibull de la Tabla 55. En los resultados obtenidos se observa un parámetro de forma( $\beta$ ) mayor a 1, lo cual significa que la máquina se encuentra entrando a una etapa de desgaste de su ciclo de vida; por lo tanto, se debe analizar una evaluación de cambio o realizar un mantenimiento preventivo inmediato por el momento, para poder incrementar su ciclo de vida y regresarlo a la etapa recta de la curva de la bañera. Por otro lado, la escala ( $\eta$ ) es 167,06 lo cual indica que se tiene un MTBF de 167 días, con una probabilidad de falla del 63 %.

**Tabla 54. Análisis de datos del Secador**

i	TBF (días)	Ln (TBF)	F(t)	Ln (Ln(1/1-F(t)))
1	61,83	4,12	0,07	-2,66
2	77,47	4,35	0,16	-1,72
3	77,49	4,35	0,26	-1,20
4	103,33	4,64	0,36	-0,82
5	103,38	4,64	0,45	-0,51
6	103,46	4,64	0,55	-0,23
7	155,25	5,05	0,64	0,03
8	155,38	5,05	0,74	0,30
9	309,00	5,73	0,84	0,59
10	311,00	5,74	0,93	0,99
<b>Total</b>		<b>48,30</b>		

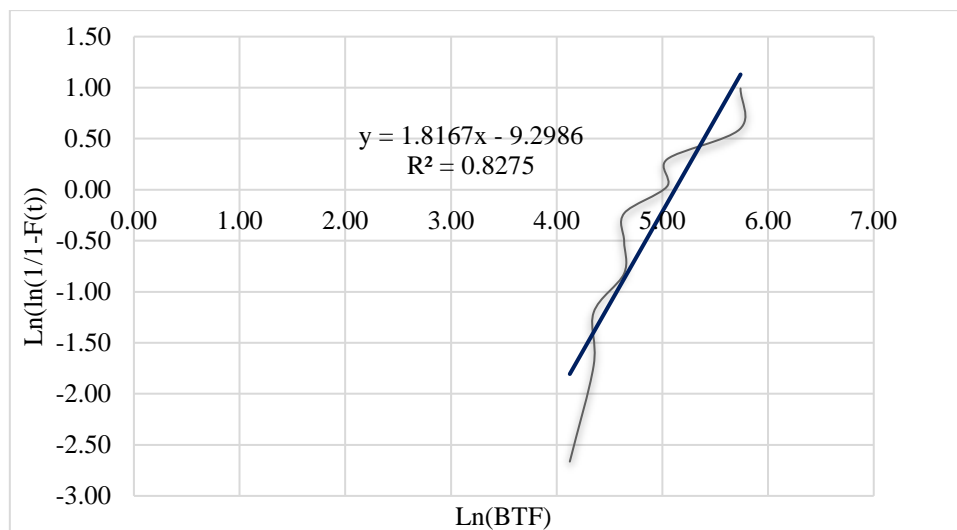
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 55. Parámetros de Weibull para el Secador**

Parámetros	
Forma ( $\beta$ )	1,82
Intercepto	-9,30
Escala ( $\eta$ )	167,06
$r^2$	0,8275

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 22, se puede observar el comportamiento Weibull de las fallas del Secador en el año 2019.



**Figura 22. Comportamiento Weibull de las fallas del Secador**

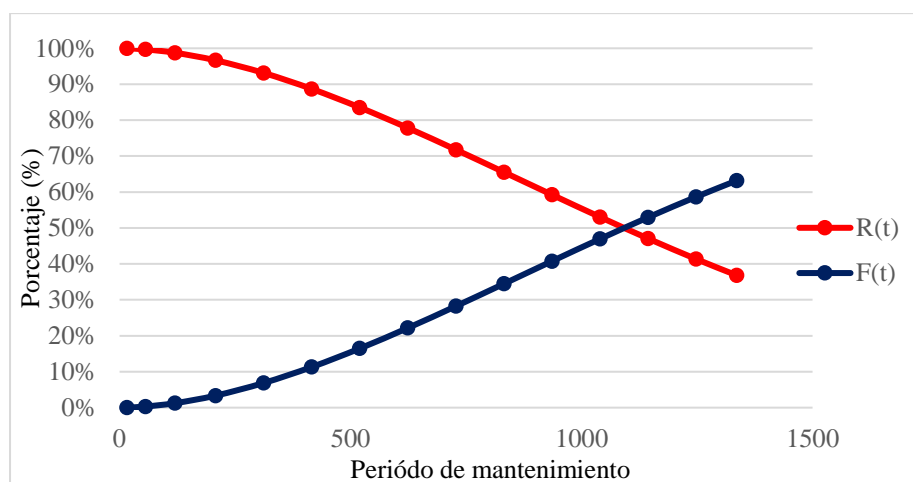
Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 56, se procedió a tabular la confiabilidad  $R(t)$  y la probabilidad de falla  $F(t)$ , para el Secador y en la Figura 23, se muestra el comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Secador.

**Tabla 56. Tabulación de la confiabilidad y probabilidad del fallo para el Secador**

t (horas)	t (días)	R(t)	F(t)
1 336	167	36,81%	63,2%
1 248	156	41,35%	58,6%
1 144	143	47,05%	52,9%
1 040	130	53,04%	47,0%
936	117	59,24%	40,8%
832	104	65,53%	34,5%
728	91	71,77%	28,2%
624	78	77,83%	22,2%
520	65	83,53%	16,5%
416	52	88,69%	11,3%
312	39	93,13%	6,9%
208	26	96,65%	3,3%
120	15	98,75%	1,2%
56	7	99,69%	0,3%
16	2	99,97%	0,0%

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 23. Comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Secador**

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 57, se muestra el análisis de datos utilizados para el Molino Refinador, con los cuales se determinaron los parámetros de Weibull de la Tabla 58. En los resultados obtenidos se observa un parámetro de forma( $\beta$ ) mayor a 1, lo cual significa que la máquina se encuentra entrando a una etapa de desgaste de su ciclo de vida; por lo tanto, se debe realizar un mantenimiento preventivo, para poder incrementar su ciclo de vida y regresarlo a la etapa recta de la curva de la bañera. Por otro lado, la escala ( $\eta$ ) es 174,01 lo cual indica que se tiene un MTBF de 174 días, con una probabilidad de falla del 63 %.

**Tabla 57. Análisis de datos del Molino Refinador**

i	TBF (días)	Ln (TBF)	F(t)	Ln (Ln(1/1-F(t)))
1	77,17	4,35	0,09	-2,31
2	77,55	4,35	0,23	-1,34
3	103,17	4,64	0,36	-0,79
4	103,67	4,64	0,50	-0,37
5	155,17	5,04	0,64	0,01
6	155,56	5,05	0,77	0,39
7	311,00	5,74	0,80	0,47
<b>Total</b>		<b>33,81</b>		

Fuente: Elaboración propia

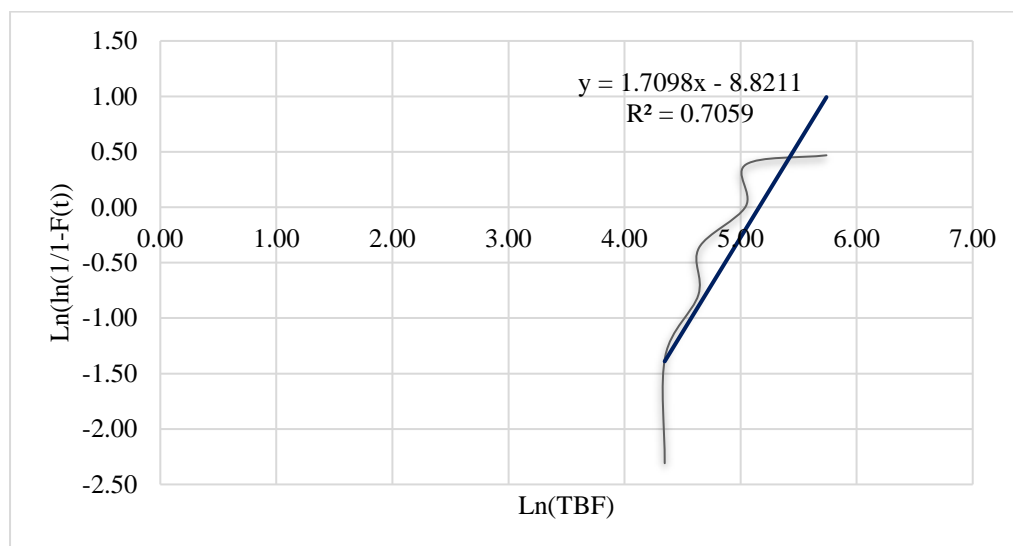
**Tabla 58. Parámetros de Weibull para el Molino Refinador**

Parámetros	
Forma ( $\beta$ )	1,710
Intercepto	-8,82
Escala ( $\eta$ )	174,01
$r^2$	0,7059

Fuente: Elaboración propia



En la Figura 24, se puede observar el comportamiento Weibull de las fallas del Molino Refinador en el año 2019.



**Figura 24. Comportamiento Weibull de las fallas del Molino Refinador**

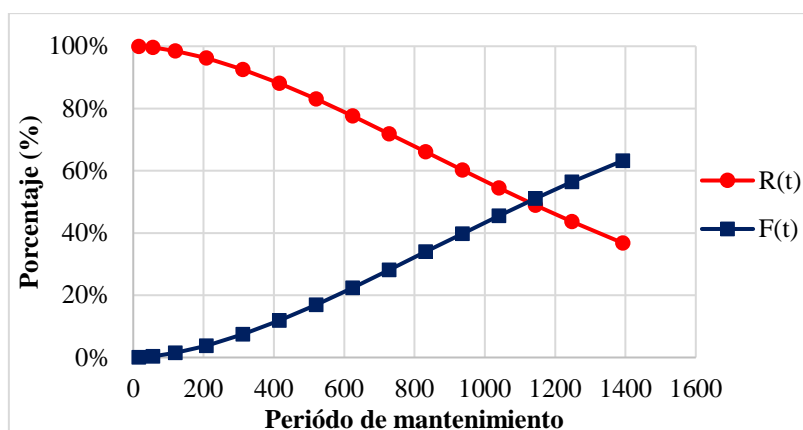
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 59, se procedió a tabular la confiabilidad  $R(t)$  y la probabilidad de falla  $F(t)$ , para el Molino Refinador y en la Figura 25, se muestra el comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Molino Refinador.

**Tabla 59. Tabulación de la confiabilidad y probabilidad del fallo para el Molino Refinador**

t (horas)	t (días)	R(t)	F(t)
1 392	174	36,8%	63,2%
1 248	156	43,6%	56,4%
1 144	143	48,9%	51,1%
1040	130	54,5%	45,5%
936	117	60,2%	39,8%
832	104	66,0%	34,0%
728	91	71,9%	28,1%
624	78	77,6%	22,4%
520	65	83,1%	16,9%
416	52	88,1%	11,9%
312	39	92,5%	7,5%
208	26	96,2%	3,8%
120	15	98,5%	1,5%
56	7	99,6%	0,4%
16	2	100,0%	0,0%

Fuente: Elaboración propia



**Figura 25. Comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Molino Refinador**  
Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 60, se muestra el análisis de datos utilizados para el Molino Chancador, con los cuales se determinaron los parámetros de Weibull de la Tabla 61. En los resultados obtenidos se observa un parámetro de forma( $\beta$ ) mayor a 1, lo cual significa que la máquina se encuentra entrando a una etapa de desgaste de su ciclo de vida; por lo tanto, se debe realizar un mantenimiento preventivo, para poder incrementar su ciclo de vida y regresarlo a la etapa recta de la curva de la bañera. Por otro lado, la escala ( $\eta$ ) es 265,5 lo cual indica que se tiene un MTBF de 266 días, con una probabilidad de falla del 63 %.

**Tabla 60. Análisis de datos del Molino Chancador**

i	TBF (días)	Ln (TBF)	F(t)	Ln (Ln(1/1-F(t)))
1	77,63	4,35	0,07	-2,66
2	103,38	4,64	0,16	-1,72
3	155,06	5,04	0,26	-1,20
4	155,20	5,04	0,36	-0,82
5	155,27	5,05	0,45	-0,51
6	155,61	5,05	0,55	-0,23
7	311,00	5,74	0,64	0,03
8	311,00	5,74	0,62	-0,03
9	311,13	5,74	0,70	0,19
10	311,38	5,74	0,78	0,42
<b>Total</b>		<b>52,13</b>		

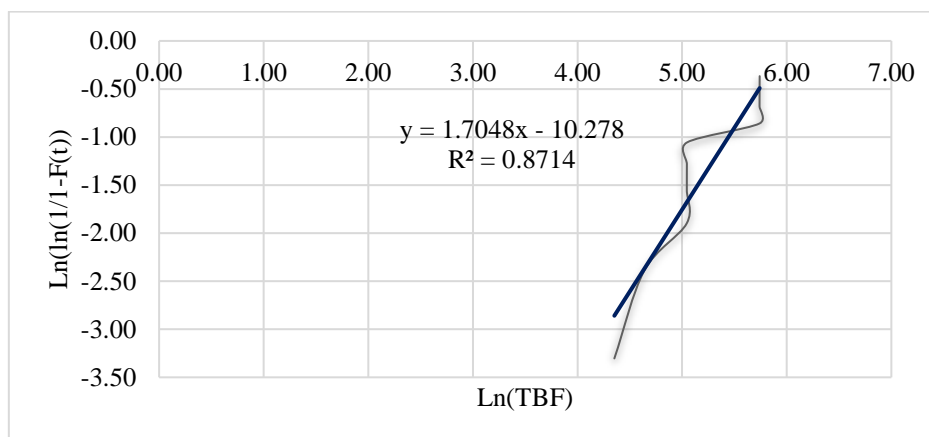
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 61. Parámetros de Weibull para el Molino Chancador**

Parámetros	
Forma ( $\beta$ )	1,77
Intercepto	-9,91
Escala ( $\eta$ )	265,5
$r^2$	0,8566

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 26, se puede observar el comportamiento Weibull de las fallas del Molino Chancador en el año 2019.



**Figura 26. Comportamiento Weibull de las fallas del Molino Chancador**

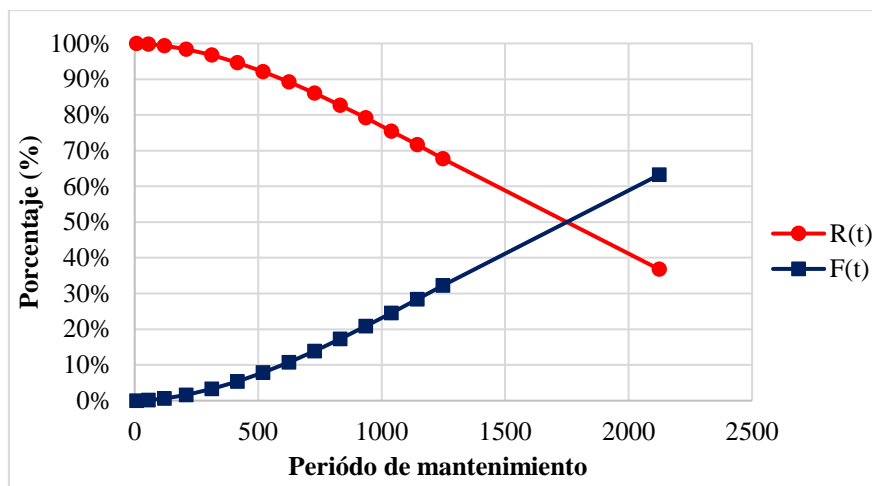
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 62, se procedió a tabular la confiabilidad  $R(t)$  y la probabilidad de falla  $F(t)$ , para el Molino Refinador y en la Figura 27, se muestra el comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Molino Chancador.

**Tabla 62. Tabulación de la confiabilidad y probabilidad del fallo para el Molino Chancador**

t (horas)	t (días)	R(t)	F(t)
2 124	265,5	36,78%	63,2%
1 248	156	67,75%	32,2%
1 144	143	71,64%	28,4%
1 040	130	75,45%	24,5%
936	117	79,17%	20,8%
832	104	82,73%	17,3%
728	91	86,11%	13,9%
624	78	89,25%	10,8%
520	65	92,10%	7,9%
416	52	94,61%	5,4%
312	39	96,73%	3,3%
208	26	98,39%	1,6%
120	15	99,39%	0,6%
56	7	99,84%	0,2%
16	1	100,00%	0,0%

Fuente: Elaboración propia



**Figura 27. Comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Molino Chancador**  
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 63, se muestra el análisis de datos utilizados para el Elevador de Cangilones, con los cuales se determinaron los parámetros de Weibull de la Tabla 64. En los resultados obtenidos se observa un parámetro de forma ( $\beta$ ) mayor a 1, lo cual significa que la máquina se encuentra entrando a una etapa de desgaste de su ciclo de vida; por lo tanto, se debe realizar un mantenimiento preventivo, para poder incrementar su ciclo de vida y regresarlo a la etapa recta de la curva de la bañera. Por otro lado, la escala ( $\eta$ ) es 170,13 lo cual indica que se tiene un MTBF de 170 días, con una probabilidad de falla del 63 %.

**Tabla 63. Análisis de datos del Elevador de Cangilones**

i	TBF (días)	Ln (TBF)	F(t) Bernard	Ln (Ln(1/1-F(t)))
1	77,09	4,34	0,11	-2,16
2	77,34	4,35	0,27	-1,18
3	103,49	4,64	0,42	-0,60
4	155,00	5,04	0,58	-0,15
5	155,13	5,04	0,73	0,28
6	311,25	5,74	0,89	0,79
<b>Total</b>		<b>29,16</b>		

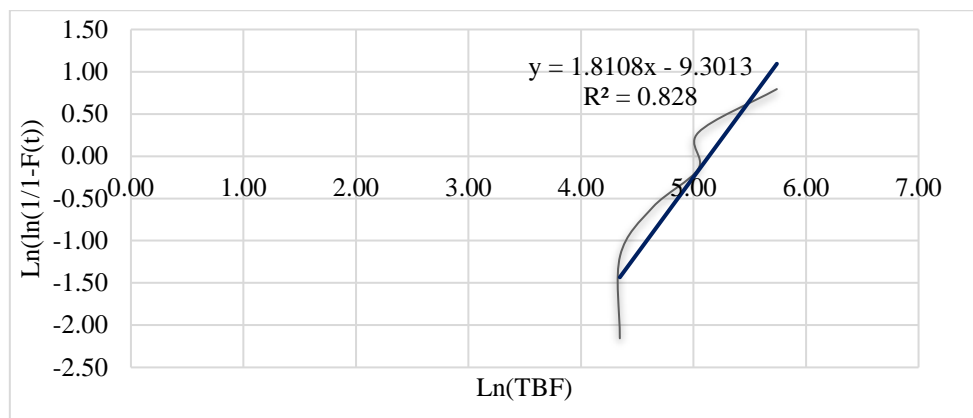
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 64. Parámetros de Weibull para Elevador de Cangilones**

Parámetros	
Forma ( $\beta$ )	1,81
Intercepto	-9,30
Escala ( $\eta$ )	170,13
$r^2$	0,8280

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 28, se puede observar el comportamiento Weibull de las fallas del Elevador de Cangilones



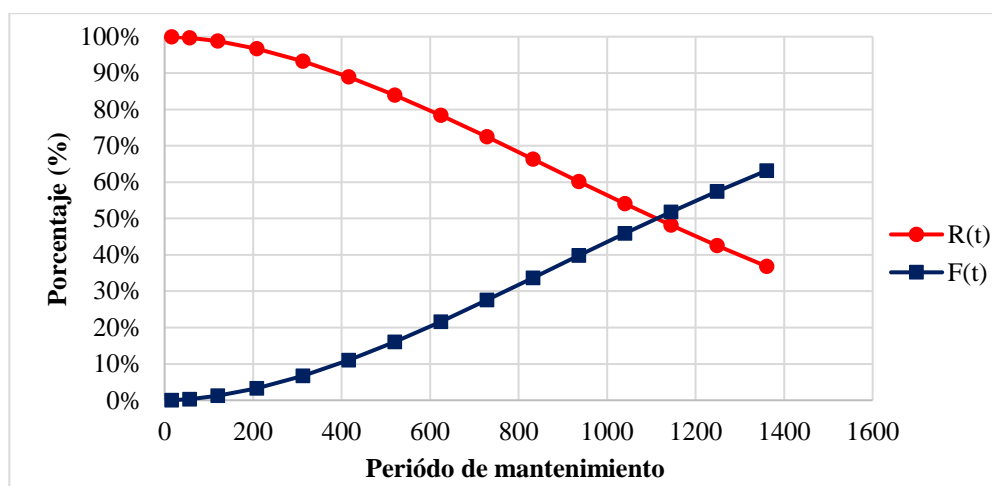
**Figura 28. Comportamiento Weibull de las fallas del Elevador de Cangilones**  
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 61, se procedió a tabular la confiabilidad  $R(t)$  y la probabilidad de falla  $F(t)$ , para el Elevador de Cangilones y en la Figura 29, se muestra el comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Elevador de Cangilones.

**Tabla 65. Tabulación de la confiabilidad y probabilidad del fallo para Elevador de Cangilones**

t (horas)	t (días)	R(t)	F(t)
1 360	170	36,8%	63,2%
1 248	156	42,5%	57,5%
1 144	143	48,2%	51,8%
1 040	130	54,1%	45,9%
936	117	60,2%	39,8%
832	104	66,4%	33,6%
728	91	72,5%	27,5%
624	78	78,4%	21,6%
520	65	83,9%	16,1%
416	52	89,0%	11,0%
312	39	93,3%	6,7%
208	26	96,7%	3,3%
120	15	98,8%	1,2%
56	7	99,7%	0,3%
16	2	100,0%	0,0%

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 29. Comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Elevador de Cangilones**

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 66, se muestra el análisis de datos utilizados para el Tornillo Sin Fin N°2, con los cuales se determinaron los parámetros de Weibull de la Tabla 67. En los resultados obtenidos se observa un parámetro de forma ( $\beta$ ) mayor a 1, lo cual significa que la máquina se encuentra entrando a una etapa de desgaste de su ciclo de vida; por lo tanto, se debe realizar un mantenimiento preventivo, para poder incrementar su ciclo de vida y regresarlo a la etapa recta de la curva de la bañera. Por otro lado, la escala ( $\eta$ ) es 215,3 lo cual indica que se tiene un MTBF de 215 días, con una probabilidad de falla del 63 %.

**Tabla 66. Análisis de datos del Tornillo Sin Fin N°2**

i	TBF (días)	Ln (TBF)	F(t) Bernard	Ln (Ln(1/1-F(t)))
1	61,67	4,12	0,08	-2,44
2	77,63	4,35	0,20	-1,49
3	103,83	4,64	0,32	-0,95
4	155,13	5,04	0,44	-0,54
5	155,50	5,05	0,56	-0,20
6	311,00	5,74	0,68	0,13
7	311,00	5,74	0,80	0,47
8	311,13	5,74	0,92	0,91
<b>Total</b>		<b>40,43</b>		

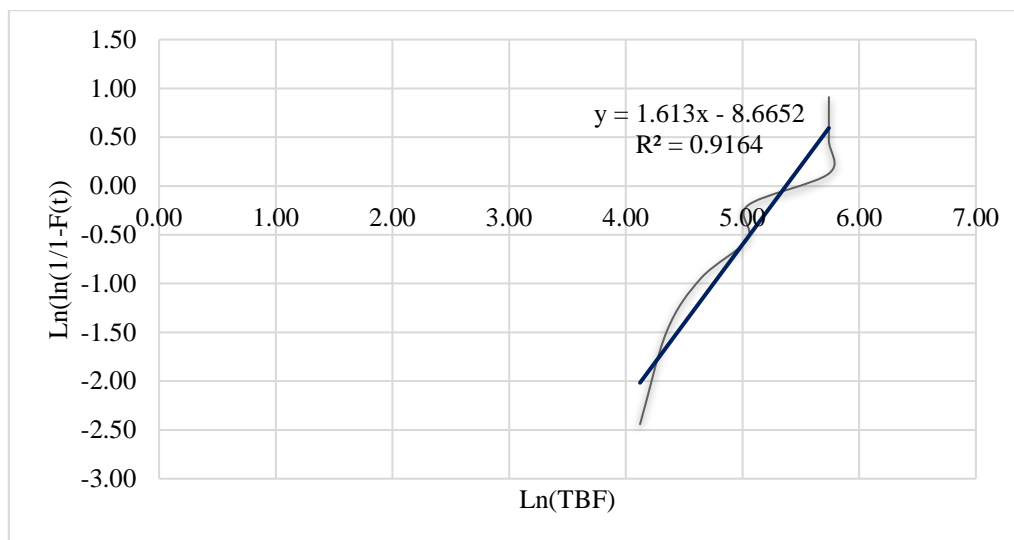
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 67. Parámetros de Weibull para el Tornillo Sin Fin N°2**

Parámetros	
Forma ( $\beta$ )	1,613
Intercepto	-8,67
Escala ( $\eta$ )	215,3
$r^2$	0,9164

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 30, se puede observar el comportamiento Weibull de las fallas del Tornillo Sin Fin N°2 en el año 2019.



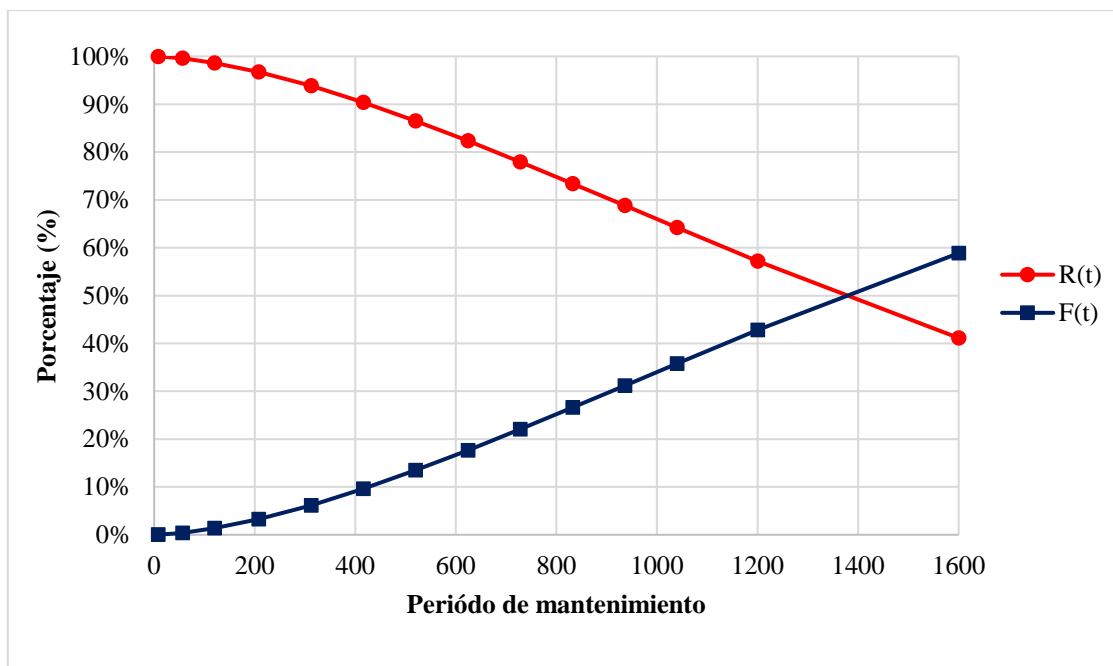
**Figura 30. Comportamiento Weibull de las fallas del Tornillo Sin Fin N°2**  
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 68, se procedió a tabular la confiabilidad  $R(t)$  y la probabilidad de falla  $F(t)$ , para el Tornillo Sin Fin N°2 y en la Figura 31, se muestra el comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Tornillo Sin Fin N°2.

**Tabla 68. Tabulación de confiabilidad y probabilidad de fallo para el Tornillo Sin Fin N°2**

t (horas)	t (días)	R(t)	F(t)
1 720	215	36,9%	63,1%
1 600	200	41,2%	58,8%
1 200	150	57,2%	42,8%
1 040	130	64,2%	35,8%
936	117	68,8%	31,2%
832	104	73,4%	26,6%
728	91	77,9%	22,1%
624	78	82,3%	17,7%
520	65	86,5%	13,5%
416	52	90,4%	9,6%
312	39	93,8%	6,2%
208	26	96,7%	3,3%
120	15	98,6%	1,4%
56	7	99,6%	0,4%
8	1	100,0%	0,0%

Fuente: Elaboración propia



**Figura 31. Comportamiento de confiabilidad y probabilidad de fallo en cuanto al tiempo de periodicidad del mantenimiento del Tornillo Sin Fin N°2**

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2.5 Codificación de componentes de máquinas críticas

En la Tabla 60, 70, 71, 72 y 73 se muestra la codificación de los componentes de las máquinas que fueron identificadas como críticas en el análisis de criticidad y de Pareto.

**Tabla 69. Codificación de componentes de Secador**

Componentes	Tipo	Componente	Consecutivo
Polines (4)	SC1	PLN	1
Motor Reductor 5HP	SC1	MOR	2
Catalina	SC1	CAT	3
Piñón conducido	SC1	PÑC	4
Piñón motriz	SC1	PÑM	5
Guía de entrada	SC1	GUE	6
Guía de salida	SC1	GUS	7
Chumaceras partidas (8)	SC1	CPT	8
Ejes (4)	SC1	EJE	9
Cubierta metálica	SC1	CUM	10
Paletas (18)	SC1	PAL	11
<b>Calderas</b>			
Motor (3)	SC1	MOC	12
Ventilador (3)	SC1	VENT	13

Fuente: Elaboración Propia



**Tabla 70. Codificación de componentes de Molino Refinador**

Componentes	Tipo	Componente	Consecutivo
Martillos (80)	MOR	MAR	1
Chumaceras partidas (2)	MOR	CPT	2
Polea conducida	MOR	POC	3
Ejes (2)	MOR	EJE	4
Fajas de transmisión (4)	MOR	FJT	5
Motor eléctrico	MOR	MOT	6
Polea motriz	MOR	POM	7
Criba 1,5 mm	MOR	CRI	8
Discos	MOR	DIS	9

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 71. Codificación de componentes de Molino Chancador**

Componentes	Tipo	Componente	Consecutivo
Martillos (56)	MOR	MAR	1
Chumaceras partidas (2)	MOR	CPT	2
Polea conducida	MOR	POC	3
Ejes (2)	MOR	EJE	4
Fajas de transmisión (3)	MOR	FJM	5
Motor	MOR	MOT	6
Polea motriz	MOR	POL	7
Criba 10 mm	MOR	CRI	8
Discos	MOR	DIS	9

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 72. Codificación de componentes de Elevador de Cangilones**

Componentes	Tipo	Componente	Consecutivo
Polín Superior	ELV	PLS	1
Polín Inferior	ELV	PLI	2
Motor reductor	ELV	MTR	3
Chumaceras partidas (2)	ELV	CPT	4
Chumaceras pared (2)	ELV	CPD	5
Polea conducida	ELV	POC	6
Polea motriz	ELV	POM	7
Banda transportadora	ELV	BNT	8
Fajas de transmisión (2)	ELV	FJT	9
Templador de faja	ELV	TFJ	10
Ejes (2)	ELV	EJE	11
Cangilón (28)	ELV	CAN	12

Fuente: Elaboración Propia

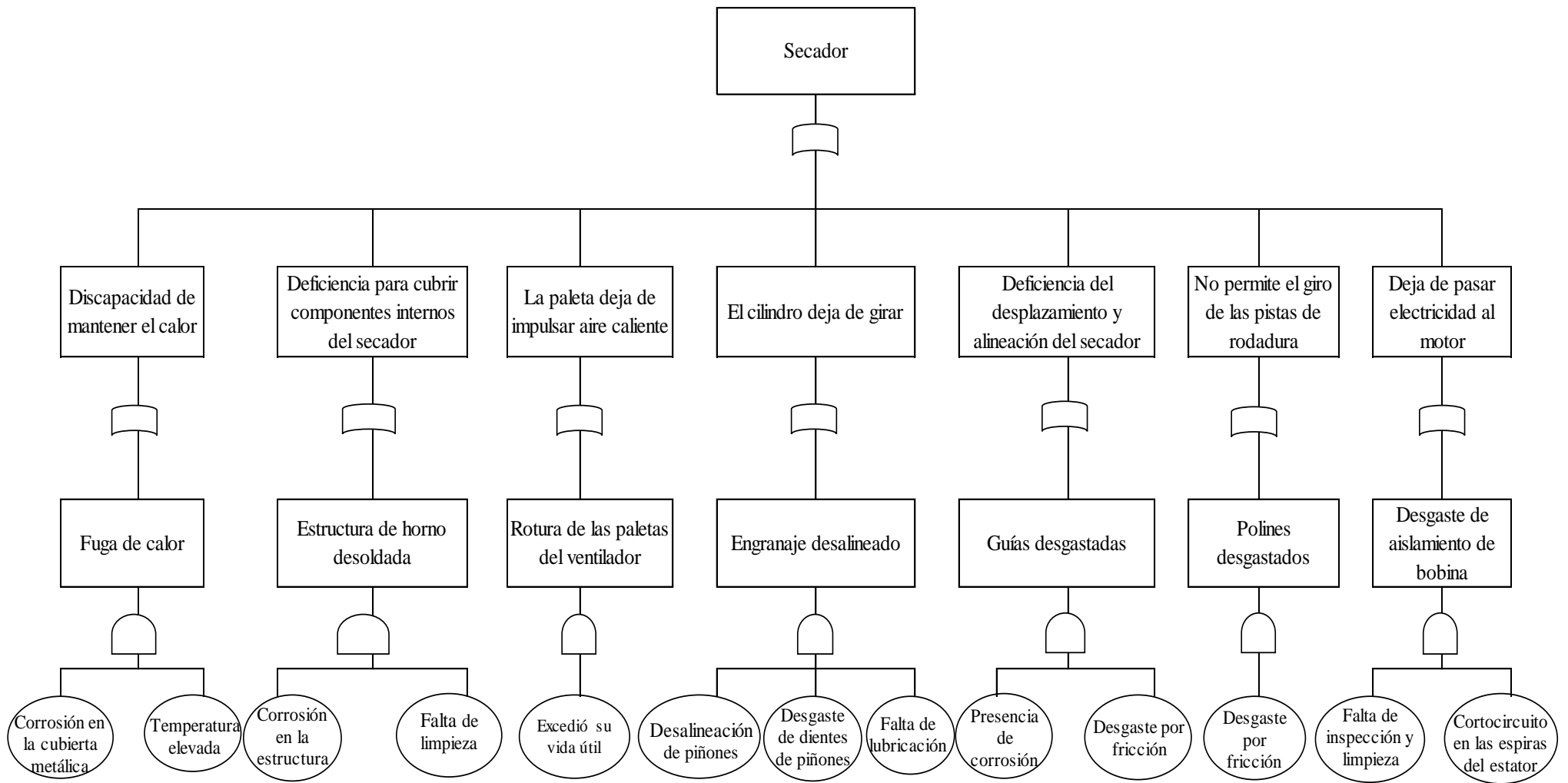
**Tabla 73. Codificación de componentes de Tornillo Sin Fin N°2**

<b>Componentes</b>	<b>Tipo</b>	<b>Componente</b>	<b>Consecutivo</b>
Helicoidal	SF2	HEL	1
Eje	SF2	EJE	2
Cubierta metálica	SF2	CUM	3
Colgante	SF2	CLG	4
Polea conducida	SF2	POC	5
Polea motriz	SF2	POM	6
Motor reductor	SF2	MTR	7
Fajas de transmisión	SF2	FJT	8
Chumaceras de pared	SF2	RST	9

Fuente: Elaboración Propia

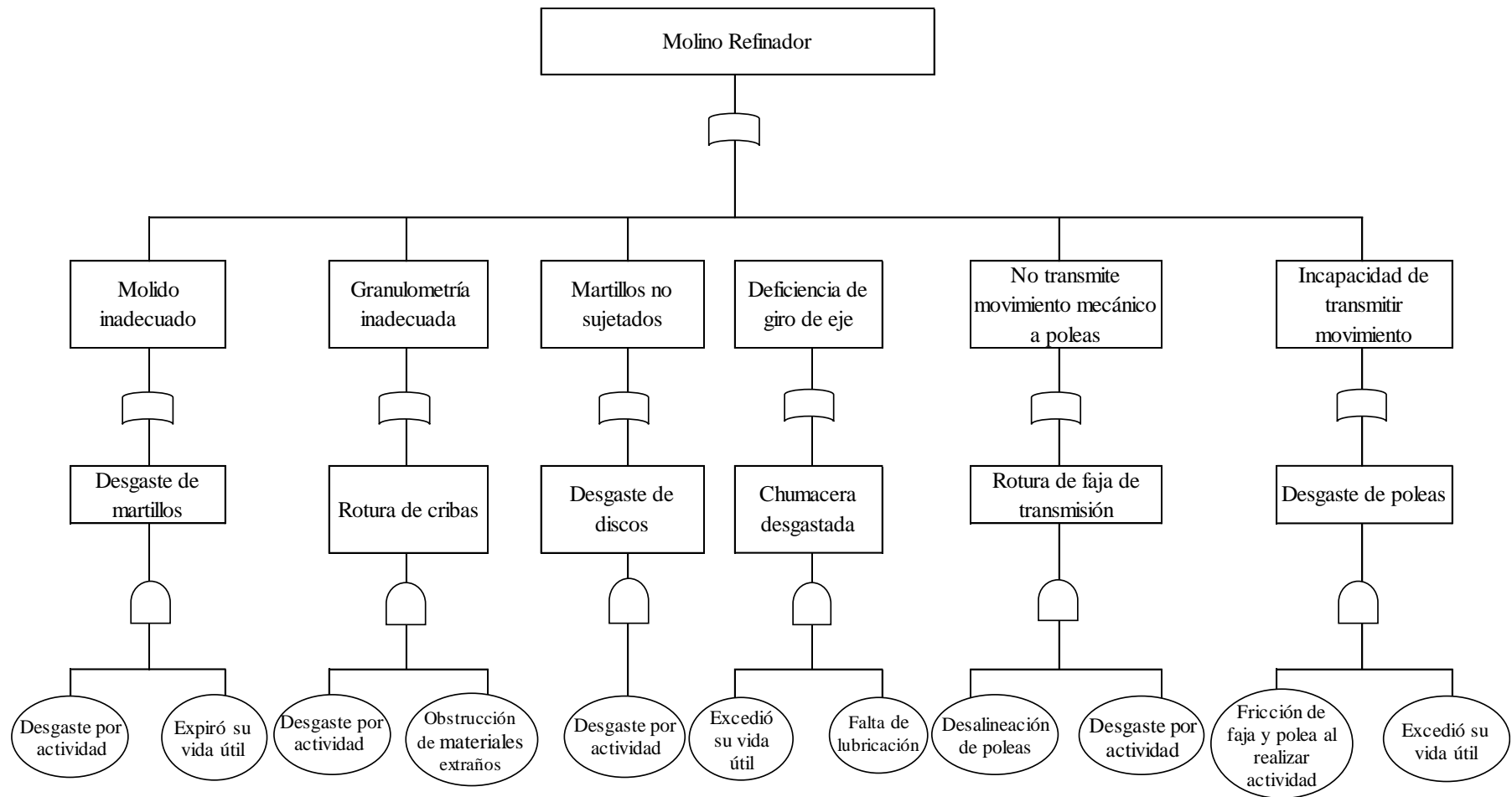
### 3.2.6 Árbol de fallas

El árbol de fallas es una herramienta excelente para identificar y corregir fallas, por lo cual se empleó para identificar las fallas de máquinas que presentaron mayor criticidad, a continuación, se detalla en las Figuras 32, 33, 34, 35 y 36.



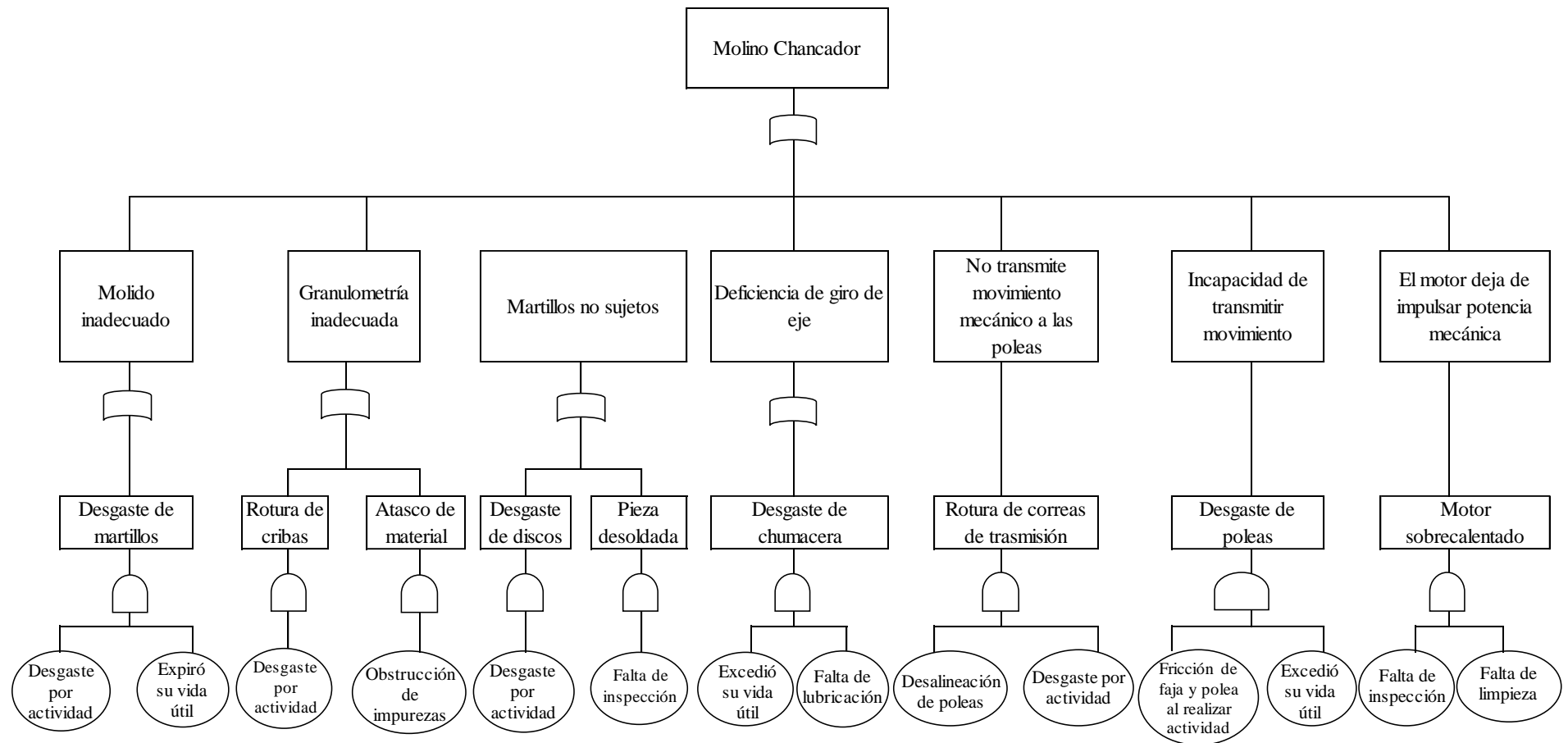
**Figura 32. Árbol de fallas de Secador de Cilindro Rotatorio**

Fuente: Elaboración Propia



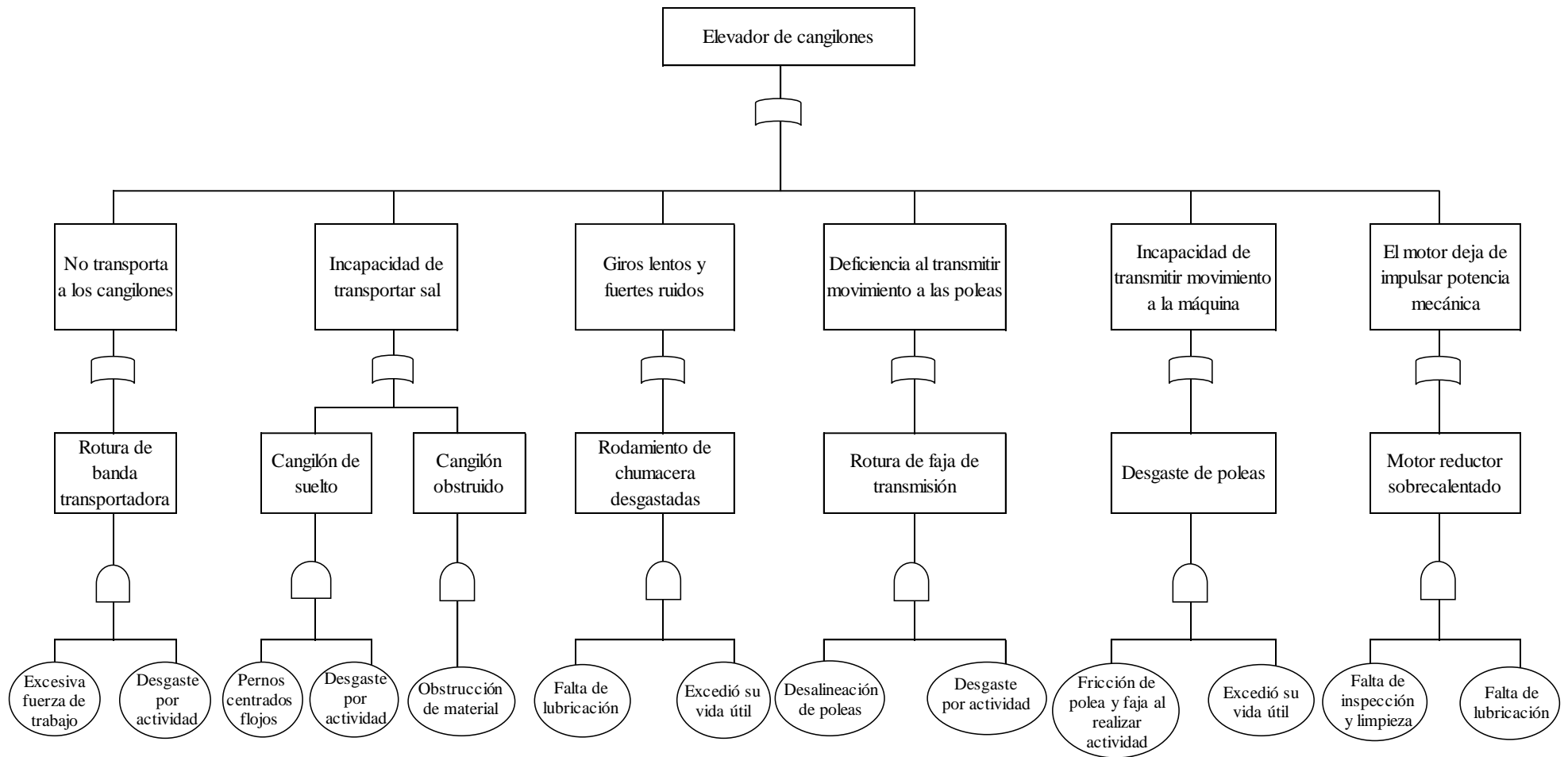
**Figura 33. Árbol de fallas de Molino Refinador**

Fuente: Elaboración Propia



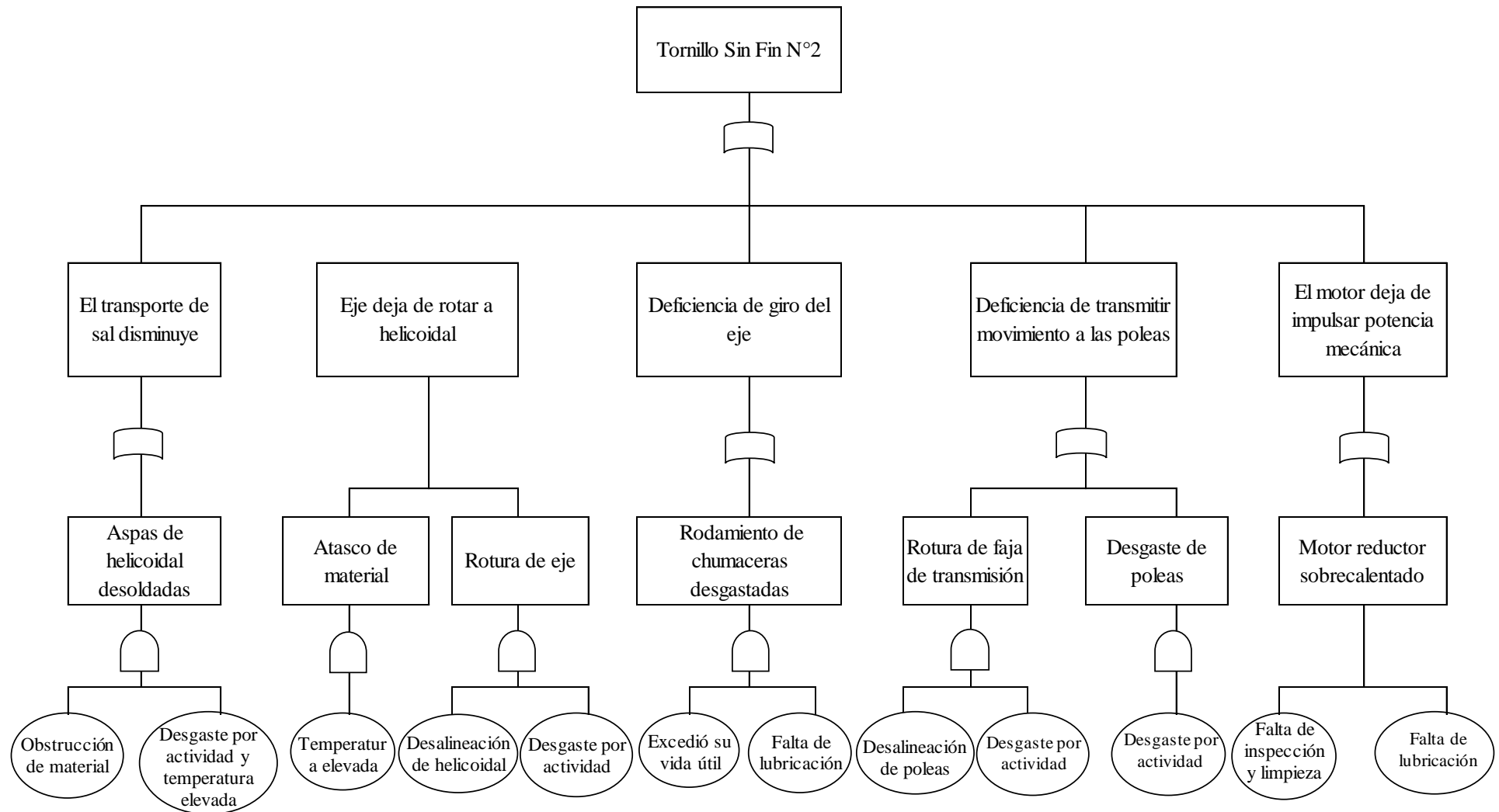
**Figura 34.Árbol de fallas de Molino Refinador**

Fuente: Gemar Group E. I. R. L



**Figura 35. Árbol de fallas de Elevador de Cangilones**

Fuente: Gemar Group E. I. R. L.



**Figura 36.Árbol de fallos de Sin Fin N°2**

Fuente: Gemar Group E. I. R. L

### 3.2.7 Análisis de modo y efecto de los fallos (AMEF)

Se realizó el análisis de modo y efecto de los fallos (AMEF), en base a la información brindada por el encargado de mantenimiento, al historial de fallos (Anexo 1) y al árbol de fallos (Figura 32, 33, 34, 35 y 36).

Este análisis consistió en determinar, las fallas funcionales, el modo, la causa y el efecto de las máquinas críticas; obteniendo así el NPR para cada falla funcional, el cual fue resultado de la puntuación dada a los criterios de gravedad, ocurrencia y severidad, según los rangos de ponderación de las Tablas 5, 6, 7 y 8 respectivamente; cuyo estudio es de gran importancia para realizar un plan de mantenimiento preventivo.

En la Tabla 74, se presenta el AMEF del Secador, cuyo NPR de sus fallas en los componentes de cubierta metálica, estructura de secador, chumaceras, motor reductor, catalina y piñón, se encuentran inaceptable, por tener una puntuación mayor a 200, por lo tanto, se propone algunas acciones recomendadas y un responsable para alcanzar un NPR mejorado.

En la Tabla 75, se presenta el AMEF del Molino Refinador, cuyo NPR de sus fallas en los componentes de martillos, cribas, discos y fajas de transmisión, se encuentran inaceptable, por tener una puntuación mayor a 200, por lo tanto, se propone algunas acciones recomendadas y un responsable para alcanzar un NPR mejorado.

En la Tabla 76, se muestra el AMEF del Molino Chancador, cuyo NPR de sus fallas originadas en los componentes de martillos, cribas, discos y fajas de transmisión, se encuentran inaceptable, por tener una puntuación mayor a 200, por lo tanto, se propone algunas acciones recomendadas y un responsable para alcanzar un NPR mejorado.

En la Tabla 77, se presenta el AMEF del Elevador de Cangilones, cuyo NPR de sus fallas originadas en los componentes de banda transportadora, cangilón y fajas de transmisión, se encuentran inaceptable, por tener una puntuación mayor a 200, por lo tanto, se propone algunas acciones recomendadas y un responsable para alcanzar un NPR mejorado.

En la Tabla 78, se presenta el AMEF del Tornillo Sin Fin N°2 cuyo NPR de sus fallas originadas en los componentes de eje y fajas de transmisión, se encuentran inaceptable, por tener una puntuación mayor a 200, por lo tanto, se propone algunas acciones recomendadas y un responsable para alcanzar un NPR mejorado.



Por lo tanto, según la información analizada en el AMEF y la clasificación del puntaje obtenido del NPR de los 34 modos de falla, se obtuvo lo siguiente:

- Fallas inaceptables: 19 – 54%
- Fallas de reducción deseable: 11-31%
- Fallas aceptables: 5-14%

Se obtuvo que el 85 % de las fallas son consideradas como inaceptables y con reducción deseable, mientras que, el 14 % son fallas aceptables; por lo cual, se optó por realizar el mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad a todas las fallas analizadas de los componentes de las máquinas críticas.

Tabla 74.Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF) del Secador

Nombre de la máquina : Secador				Realizado por : Karoll Anabell Guevara Mondragón										N° de AMEF: 1				
Función: Eliminar la humedad de la sal				Aprobado por : Ing. Carlos Alexis Alvarado Silva					Situación actual				Nueva situación					
Componente	F	Función que realiza	F F	Falla Funcional	M F	Modo de falla	Efectos del modo de falla	Causa potencial	G	O	D	NPR	Acciones Recomendadas	Responsable	G	O	D	NPR
Cubierta metálica	1	Cubrir al horno para mantener el calor	A	Incapacidad de mantener el calor	1	Fuga de calor	Disminuye la temperatura del secado de sal	Corrosión en la cubierta metálica y temperatura elevada	9	3	8	216	Cambiar cubierta metálica.	Mecánico/Soldador	7	1	6	42
Estructura de secador	1	Cubrir los componentes internos del secador	B	Deficiencia para cubrir componentes internos del secador	1	Estructura de horno desoldada	Disminuye la temperatura de secado y la producción de sal	Corrosión en la estructura	8	4	8	256	Inspeccionar la integridad de la estructura y soldar fisuras si fuese necesario.	Mecánico/Soldador	7	2	6	84
								Falta de limpieza				Realizar limpieza al terminar el turno.	Operario					
Paletas de ventilador de calderas	1	Impulsar y hacer circular el aire caliente de las calderas	C	La paleta deja de impulsar aire caliente	1	Rotura de las paletas de ventilador	Disminuye el secado uniforme de la sal	Excedió su vida útil	7	3	7	147	Cambiar paletas de ventilador.	Mecánico	7	1	6	42
Chumaceras	1	Permitir el giro del eje y soportar la carga	D	Deficiencia de giro del eje	1	Rodamiento de Chumaceras desgastadas	Reducción del avance de la máquina	Falta de lubricación	7	4	8	224	Limpiar y engrasar chumaceras.	Mecánico	4	1	6	24
								Excedió su vida útil				Cambiar chumaceras.						
Catalina y piñón	1	Formar parte del engranaje y transmitir movimiento giratorio a la catalina	E	El cilindro deja de girar	1	Engranaje desalineado	Parada de la producción	Desgaste de dientes de piñones y catalina	8	4	8	256	Reparar o cambiar si fuese necesario.	Mecánico	8	2	6	96
								Falta de lubricación				Lubricar engranaje.						
Guías(pistas de rodadura)	1	Permitir el desplazamiento del cilindro sobre los polines y mantener la alineación	F	Deficiencia del desplazamiento y alineación del secador	1	Guías desgastadas	Parada de la producción	Presencia de corrosión					Limpiar pistas de rodadura.	Operario				
								Desgaste por fricción	8	3	8	192	Inspeccionar el estado de las pistas de rodadura	Mecánico	7	1	6	42
Polines	1	Permitir el giro de las guías o pistas de rodadura	G	No permite el giro de las pistas de rodadura	1	Polines desgastados	Reducción del avance de la máquina	Desgaste por fricción	8	3	8	192	Inspeccionar integridad de polines	Mecánico	7	1	6	42
												Cambiar polines si fuese necesario.						
Motor reductor	1	Impulsar potencia mecánica y reducir el giro del secador	H	Deja de pasar electricidad al motor	1	Desgaste de aislamiento de Bobina	Parada de la producción	Falta de inspección y limpieza.	8	4	8	256	Revisar parámetros nominales del motor (amperaje y temperatura). Inspeccionar y limpiar componentes internos, y cambiar motor si fuese necesario.	Electricista	4	1	6	24
								Cortocircuito en las espiras del estator										

Fuente: Elaboración Propia. En base a Gemar Group E. I. R. L., 2019.

Tabla 75. Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF) del Molino Refinador

Nombre de la máquina : Molino refinador					Realizado por: Karoll Anabell Guevara Mondragón									N° de AMEF: 2							
Función: Realizar el chancado y refinado de la sal					Aprobado por : Ing. Carlos Alexis Alvarado Silva									Situación actual				Nueva situación			
Componente	F	Función que realiza	F F	Falla Funcional	M F	Modo de falla	Efectos del modo de falla	Causa potencial	G	O	D	NPR	Acciones Recomendadas	Responsable	G	O	D	NPR			
Martillos	1	Golpear y triturar la sal en gema	A	Molido inadecuado	1	Desgaste de martillos	Diminución de la producción y vibraciones excesivas	Expiró su vida útil Desgaste por actividad	9	4	8	288	Inspeccionar el estado de martillos, invertir o reemplazarlo.	Mecánico	7	1	6	42			
Cribas	1	Permitir la salida del material molido con una granulometría de 1,5 mm	B	Granulometría inadecuada	1	Rotura de cribas	Deficiencia en la calidad del material	Desgaste por actividad	9	3	8	216	Inspeccionar la integridad de las cribas y cambiar si fuese necesario.	Mecánico	7	1	6	42			
								Obstrucción de materiales extraños					Limpiar diariamente la máquina.	Operario							
Discos	1	Separar y sujetar martillos	C	Martillos no sujetos	1	Desgaste de discos	Parada de la producción	Desgaste por actividad	9	4	8	288	Revisar gap de desgaste de discos y solicitar cambio si fuese necesario.	Mecánico	7	2	6	84			
Chumaceras	1	Permitir el giro del eje y soportar la carga	D	Deficiencia de giro del eje	1	Chumacera desgastada	Reducción del avance de la máquina	Falta de lubricación	7	3	8	168	Limpiar y engrasar chumacera.	Mecánico	4	1	6	24			
								Expiró su vida útil					Cambiar chumacera.								
Fajas de transmisión	1	Transmitir movimiento mecánico entre poleas	E	No transmite movimiento mecánico a las poleas	1	Rotura de fajas de transmisión	Parada de la producción	Desalineación de poleas	8	4	7	224	Inspeccionar y alinear poleas	Mecánico	7	1	6	42			
								Desgaste por actividad					Cambiar faja de transmisión.								
Poleas	1	Transmitir movimiento a la máquina y sujetar a las fajas de transmisión	F	Incapacidad de transmitir movimiento	1	Desgaste de poleas	Disminuye la velocidad de producción	Fricción de faja y polea al realizar actividad	7	3	8	168	Cambiar polea.	Mecánico	7	1	6	42			
								Excedió su vida útil													

Fuente: Elaboración Propia. En base a Gemar Group E. I. R. L., 2019.

Tabla 76. Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF) del Molino Chancador

Nombre de la máquina : Molino chancador					Realizado por: Karoll Anabell Guevara Mondragón									N° de AMEF: 3							
Función: Realizar el chancado y refinado de la sal					Aprobado por : Ing. Carlos Alexis Alvarado Silva									Situación actual				Nueva situación			
Componente	F	Función que realiza	F F	Falla Funcional	M F	Modo de falla	Efectos del modo de falla	Causa potencial	G	O	D	NPR	Acciones Recomendadas	Responsable	G	O	D	NPR			
Martillos	1	Golpear y triturar la sal en gema	A	Molido inadecuado	1	Desgaste de martillos	Diminución de la producción y vibraciones excesivas	Expiró su vida útil Desgaste por actividad	9	4	8	288	Inspeccionar el estado de martillos, invertir o reemplazarlo.	Mecánico	7	1	6	42			
Cribas	1	Permitir la salida del material molido con una granulometría de 10 mm	B	Granulometría inadecuada	1	Rotura de cribas	Deficiencia en la calidad del material	Desgaste por actividad	9	3	8	216	Inspeccionar la integridad de las cribas y cambiar si fuese necesario.	Mecánico	7	1	6	42			
					2	Atasco de material		Obstrucción de impurezas					Limpiar diariamente la máquina y regular la entrada del producto.	Operario							
Discos	1	Separar y sujetar martillos	C	Martillos no sujetos	1	Desgaste de discos	Parada de producción	Desgaste por actividad	9	3	8	216	Revisar gap de desgaste de discos, y solicitar cambio si fuese necesario.	Mecánico	7	2	6	84			
					2	Pieza desoldada		Falta de inspección					Inspeccionar integridad de discos y soldar si fuese necesario.								
Chumaceras	1	Permitir el giro del eje y soportar la carga	D	Deficiencia de giro del eje	1	Desgaste de chumacera	Reducción del avance de la máquina	Falta de lubricación Expiró su vida útil	7	3	8	168	Limpiar y engrasar chumacera. Cambiar chumacera.	Mecánico	4	1	6	24			
Fajas de transmisión	1	Transmitir movimiento mecánico entre poleas	E	No transmite movimiento mecánico a las poleas	1	Rotura de correas de transmisión	Parada intempestiva de la producción	Desalineación de poleas Desgaste por actividad	8	4	7	224	Inspeccionar y alinear poleas. Cambiar faja de transmisión.	Mecánico	7	1	6	42			
Poleas	1	Transmitir movimiento a la máquina y sujetar a las fajas de transmisión	F	Incapacidad de transmitir movimiento	1	Desgaste de poleas	Disminuye la velocidad de producción	Fricción de faja y polea al realizar actividad Excedió su vida útil	7	3	8	168	Cambiar polea.	Mecánico	7	1	6	42			
Motor	1	Impulsar potencia mecánica para el movimiento del molino	G	El motor deja de impulsar potencia mecánica	1	Motor sobrecalentado	Parada intempestiva de la producción	Falta de inspección y limpieza	8	1	7	56	Revisar parámetros nominales del motor(amperaje y temperatura).Inspeccionar y limpiar componentes internos, y/o cambiar motor si fuese necesario.	Electricista	4	1	6	24			

Fuente: Elaboración Propia. En base a Gemar Group E. I. R. L., 2019.

Tabla 77.Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF) del Elevador de Cangilones

Nombre de la máquina : Elevador de cangilones				Realizado por: Karoll Anabell Guevara Mondragón										Nº de AMEF: 4				
Función: Transportar la sal refinada a la tamizadora				Aprobado por : Ing. Carlos Alexis Alvarado Silva										Situación actual				
														Nueva situación				
Componente	F	Función que realiza	F F	Falla Funcional	M F	Modo de falla	Efectos del modo de falla	Causa potencial	G	O	D	NPR	Acciones Recomendadas	Responsable	G	O	D	NPR
Banda transportadora	1	Soportar y transportar verticalmente a los cangilones	A	No transporta a los cangilones	1	Rotura de banda transportadora	Parada de la producción	Excesiva fuerza de trabajo	9	3	9	243	Inspeccionar la tensión de banda transportadora y ajustar si fuese necesario	Mecánico	7	1	6	42
								Desgaste por actividad					Cambiar banda transportadora					
Cangilón	1	Alojar y transportar sal ascendentemente	B	Incapacidad de transportar sal	1	Cangilón suelto	Disminución de la velocidad del transporte de sal	Pernos centradores de cangilón flojos por actividad	8	4	8	256	Inspeccionar el torque de ajuste de los pernos centradores o si falta alguno de éstos en los cangilones	Mecánico	7	1	6	42
								Desgaste por actividad					Revisar si existen patrones de desgaste y cambiar los cangilones dañados					
					2	Cangilón obstruido		Obstrucción de material	7	5	8	280	Limpiar acumulación de material	Operario	7	2	6	84
Chumaceras	1	Guiar la rotación del eje, sostenerlo y evitar deslizamientos	C	Deficiencia de giro del eje	1	Rodamiento de chumaceras desgastadas	Reducción del avance de la máquina	Falta de lubricación	7	3	8	168	Limpiar y engrasar chumacera	Mecánico	4	1	6	24
								Excedió a su vida útil					Cambiar chumacera					
Fajas de transmisión	1	Transmitir movimiento mecánico entre poleas	D	Deficiencia al transmitir movimiento a las poleas	1	Rotura de faja de transmisión	Paralización de la producción	Desalineación de poleas	8	4	7	224	Inspeccionar y alinear poleas	Mecánico	7	1	6	42
								Desgaste por actividad					Cambiar fajas de transmisión					
Poleas	1	Transmitir movimiento a la máquina y sujetar a las fajas de transmisión	E	Incapacidad de transmitir movimiento a la máquina	1	Desgaste de poleas	Disminuye la velocidad del transporte de sal	Fricción de la polea y faja al realizar actividad	7	3	8	168	Cambiar polea	Mecánico	7	1	6	42
								Excedió su vida útil										
Motor reductor	1	Impulsar potencia mecánica y reducir la velocidad de avance del elevador	F	El motor deja de impulsar potencia mecánica	1	Motor reductor sobrecalentado	Parada de la producción	Falta de inspección y limpieza	8	1	7	56	Revisar parámetros nominales del motor(ampereaje y temperatura). Inspeccionar y limpiar componentes internos y/o cambiar motor si fuese necesario	Electricista	4	1	6	24
								Falta de lubricación					Inspeccionar nivel de aceite y cambiar si fuese necesario					

Fuente: Elaboración Propia. En base a Gemar Group E. I. R. L., 2019.

Tabla 78.Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF) del Tornillo Sin Fin N°2

Nombre de la máquina :Tornillo Sin Fin N°2				Realizado por: Karoll Anabell Guevara Mondragón									N° de AMEF: 5							
Función: Separar y clasificar la sal refinada				Aprobado por : Ing. Carlos Alexis Alvarado Silva									Situación actual				Nueva situación			
Componente	F	Función que realiza	F F	Falla Funcional	M F	Modo de falla	Efectos del modo de falla	Causa potencial	G	O	D	NPR	Acciones Recomendadas	Responsable	G	O	D	NPR		
Helicoidal	1	Transportar sal	A	El transporte de sal disminuye	1	Aspas de helicoidal desoldadas	Reducción del avance de la máquina	Obstrucción de material					Realizar limpieza de helicoidal	Operario						
								Desgaste por actividad y temperatura elevada	7	3	8	168	Inpeccionar espesor de aspas de helicoidal y soldar fisuras si fuese necesario	Mecánico/ Soldador	7	1	6	42		
													Revisar integridad de helicoidal y/o cambio							
Eje	1	Sostener y rotar a helicoidal para transportar material	B	Eje deja de rotar a helicoidal	1	Atasco de material	Paralización de la producción	Temperatura elevada	8	4	8	256	Revisar periódicamente la temperatura de entrada del material		7	2	6	84		
								Desalineación de helicoidal					Alinear helicoidal con eje y revisar templadores	Mecánico						
								2	Rotura de eje		9	1	8	72			7	1	6	42
Chumaceras	1	Guiar la rotación del eje, sostenerlo y evitar deslizamientos	C	Deficiencia de giro del eje	1	Rodamiento de chumaceras desgastadas	Reducción del avance de la máquina	Desgaste por actividad					Cambiar eje si fuese necesario							
								Falta de lubricación	7	3	8	168	Limpiar y engrasar chumaceras	Mecánico	4	1	6	24		
								Excedió su vida útil					Cambiar chumaceras							
Fajas de transmisión	1	Transmitir movimiento mecánico entre poleas	D	Deficiencia de transmitir movimiento a las poleas	1	Rotura de faja de transmisión	Paralización de la producción	Desalineación de poleas	8	4	7	224	Alinear poleas	Mecánico	7	1	6	42		
								Desgaste por actividad					Cambiar fajas de transmisión							
								2	Desgaste de poleas		7	2	8	112	Cambiar poleas	Mecánico	7	1	6	42
Motor reductor	1	Impulsar potencia mecánica y reducir la velocidad de avance del elevador	F	El motor deja de impulsar potencia mecánica	1	Motor reductor sobrecalentado	Paralización de la producción	Falta de inspección y limpieza	8	1	7	56	Revisar parámetros nominales del motor(amperaje y temperatura). Inspeccionar y limpiar componentes internos, y/o cambiar motor si fuese necesario.	Electricista	4	1	6	24		
								Falta de lubricación					Inspeccionar nivel de aceite y cambiar si fuese necesario	Mecánico						

Fuente: Elaboración Propia. En base a Cemar Group E. I. R. L., 2019.

### 3.2.8 Hoja de decisión del RCM

Se realizó la hoja de decisiones del RCM con la información obtenida en el AMEF, para el Secador, Molino Refinador, Molino Chancador y Sin Fin N°2 (Tabla 79, 80, 81, 82 y 83), en el cual se estableció la tarea a realizar, el periodo y la persona responsable de dicha tarea.

Para determinar el periodo en el que se realizarán las tareas se consideró lo siguiente:

- **Tiempo promedio operativo hasta el fallo (MTTF):**

Se utilizó este indicador para medir el tiempo que opera cada componente de las máquinas analizadas sin ninguna interrupción, cuyo resultado sirvió para establecer el periodo de las tareas propuestas.

- **Se emplearon Guías y Manuales de mantenimiento:**

- Guía de mantenimiento Rolling-bearings rodamiento SKF.
- Guia Schaeffler Group
- Manual de montaje con indicaciones para el funcionamiento y el mantenimiento de motorreductores WEG
- Manual de mantenimiento preventivo de Elevadores de Alto Rendimiento y Super Capacidad Rexnord. (Ver Anexo 5)
- Manual de molino de martillos de la Maquinaria Triunfo S.A. DE C.V. (Ver Anexo 4)
- Manual de Seguridad, Instalación y Mantenimiento para Transportadores Helicoidales (Ver Anexo 6)
- Manual de instrucciones de uso de SKF TKBA 10 y 20 para poleas y piñones (Ver anexo 7.)

- **Coordinación con el encargado de mantenimiento:**

Se revisó manuales y se elaboraron tareas de mantenimiento, para luego corroborar dicha información con la experiencia del técnico encargado del mantenimiento correctivo, ya que él monta y desmonta las máquinas y tiene mayor familiaridad con estas.

Tabla 79. Hoja de decisión del Secador

HOJA DECISIÓN RCM															
ÁREA: Secado de sal húmeda										Máquina: Secador					
Referencias de Información			Referencias de Información				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
							S1	S2	S3	H4	H5	S4			
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3						
							N1	N2	N3						
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar cubierta metálica	4 meses	Mecánico
1	B	1	S	N	N	S	N	S	N				Inspeccionar la integridad de la estructura y/o soldar fisuras	3 meses	Mecánico
1	B	1	S	N	N	S	S	N	N				Limpiar estructura de secador	Diario	Operario
1	C	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar paletas de ventilador	6 meses	Mecánico
1	D	1	S	N	N	S	N	S	N				Limpiar y engrasar chumaceras	Mensual	Mecánico
1	D	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar chumaceras	Anual	Mecánico
	E	1	S	N	N	S	N	S	N				Alinear piñones	2 meses	Mecánico
1	E	1	S	N	N	S	N	N	S				Reparar o cambiar catalina y piñones	Anual	Mecánico
1	E	1	S	N	N	S	N	S	N				Lubricar engranaje	Mensual	Mecánico
1	F	1	S	N	N	S	S	N	N				Limpiar pistas de rodadura	Diario	Mecánico
1	F	1	S	N	N	S	N	N	S				Inpeccionar desgaste de pistas de rodadura y/o cambiar	4 meses	Mecánico
1	G	1	S	N	N	S	N	N	S				Inspeccionar intrigad de polines y/o cambiar polines	6 meses	Mecánico
1	H	1	S	N	N	S	N	S	N				Revisar parámetros nominales del motor	Semanal	Electricista
1	H	1	S	N	N	S	N	S	N				Inspeccionar componetes internos, limpiar y barnizar bobina	6 meses	Electricista

Fuente: Elaboración Propia.



Tabla 80. Hoja de decisión del Molino Refinador

HOJA DECISIÓN RCM												
ÁREA: Molienda							Máquina: Molino Refinador					
Referencias de Información			Referencias de Información				H1	H2	H3	Acción a falta de		
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4
							O1	O2	O3	Tarea Propuesta		
							N1	N2	N3	Intervalo Inicial		
										A realizarse por		
1	A	1	S	N	N	S	N	S	N	Inspeccionar e invertir martillos	4 meses	Mecánico
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S	Cambiar martillos	Anual	Mecánico
1	B	1	S	N	N	S	N	N	S	Inspeccionar integridad de cribas y cambiar si fuese necesario	6 meses	Mecánico
1	B	1	S	N	N	S	S	N	N	Limpiar cribas	Diario	Operario
1	C	1	S	N	N	S	N	S	N	Inspeccionar integridad de discos y soldar si fuese necesario	3 meses	Mecánico
1	C	1	S	N	N	S	N	N	S	Revisar gap de desgaste de discos y solicitar cambio si fuese necesario.	6 meses	Mecánico
1	D	1	S	N	N	S	N	S	N	Limpiar y engrasar chumacera	Mensual	Mecánico
1	D	1	S	N	N	S	N	N	S	Cambiar chumacera	Anual	Mecánico
1	E	1	S	N	N	S	N	N	S	Cambiar faja de transmisión	3 Meses	Mecánico
1	E	1	S	N	N	S	N	S	N	Inspeccionar y alinear poleas	Mensual	Mecánico
1	F	1	S	N	N	S	N	N	S	Cambiar polea	Semanal	Mecánico

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 81. Hoja de decisión del Molino Chancador

HOJA DECISIÓN RCM														
ÁREA: Molienda							Máquina: Molino Chancador							
Referencias de Información			Referencias de Información				H1	H2	H3	Acción a falta de			Intervalo Inicial	A realizarse por
							S1	S2	S3					
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	Tarea Propuesta			Intervalo Inicial	A realizarse por
							N1	N2	N3					
1	A	1	S	N	N	S	N	S	N	Inspeccionar e invertir martillos			4 meses	Mecánico
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S	Cambiar martillos			Anual	Mecánico
1	B	1	S	N	N	S	N	N	S	Inspeccionar integridad de cribas y/o cambio			6 meses	Mecánico
1	B	2	S	N	N	S	S	N	N	Limpiar cribas y regular la entrada del producto			Diario	Operario
1	C	1	S	N	N	S	N	N	S	Revisar gap de desgaste de discos y/o cambiar			6 meses	Mecánico
1	C	2	S	N	N	S	N	S	N	Inspeccionar la integridad de discos y soldar si fuese necesario			3 meses	Mecánico
1	D	1	S	N	N	S	N	S	N	Limpiar y engrasar chumacera			mensual	Mecánico
1	D	1	S	N	N	S	N	N	S	Cambiar chumacera			Anual	Mecánico
1	E	1	S	N	N	S	N	S	N	Inspeccionar y alinear poleas			Mensual	Mecánico
1	E	1	S	N	N	S	N	N	S	Cambiar fajas de transmisión			3 meses	Mecánico
1	F	1	S	N	N	S	N	N	S	Cambiar polea			6 meses	Mecánico
1	G	1	S	N	N	S	N	S	N	Revisar parámetros nominales del motor			Semanal	Eléctrico
1	G	1	S	N	N	S	N	S	N	Inspeccionar y limpiar componentes internos			6 meses	Eléctrico

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 82. Hoja de decisión del Elevador de Cangilones

HOJA DECISIÓN RCM															
ÁREA: Transporte de sal refinada							Máquina: Elevador de cangilones								
Referencias de Información			Referencias de Información				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
							S1	S2	S3	H4	H5	S4			
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3						
							N1	N2	N3						
1	A	1	S	N	N	S	N	S	N				Inspeccionar tensión de banda transportadora y ajustar si fuese necesario	3 meses	Mecánico
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar banda transportadora	6 meses	Mecánico
1	B	1	S	N	N	S	N	S	N				Inspeccionar torque de pernos centradores o si falta alguno de éstos en los cangilones	3 meses	Mecánico
1	B	1	S	N	N	S	N	N	S				Revisar si existen patrones de desgaste y cambiar cangilones dañados	6 meses	Mecánico
1	B	2	S	N	N	S	S1	N	N				Limpiar acumulación de material	Diario	Operario
1	C	1	S	N	N	S	N	S	N				Limpiar y engrasar chumacera	Mensual	Mecánico
1	C	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar chumacera	Anual	
1	D	1	S	N	N	S	N	S	N				Inspeccionar y alinear poleas	Mensual	Mecánico
1	D	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar fajas de transmisión	3 meses	Mecánico
1	E	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar polea	6 meses	Mecánico
1	F	1	S	N	N	S	N	S	N				Revisar parámetros nominales del motor(amperaje y temperatura)	Semanal	Eléctrico
1	F	1	S	N	N	S	N	S	N				Inspeccionar y limpiar componentes internos, y/o cambiar motor si fuese necesario	6 meses	Eléctrico
1	F	1	S	N	N	S	N	S	N				Inspeccionar nivel de aceite	Mensual	Mecánico
1	F	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar aceite si fuese necesario	Anual	Mecánico

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 83.Hoja de decisión del Tornillo Sin Fin N° 2

HOJA DECISIÓN RCM												
Área: Transporte de sal seca							Máquina: Tornillo Sin Fin N°2					
Referencias de Información			Referencias de Información				H1	H2	H3	Acción a falta de		
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4
							O1 N1	O2 N2	O3 N3	Tarea Propuesta		
										Intervalo Inicial		
										A realizarse por		
1	A	1	S	N	N	S	S	N	N	Realizar limpieza de helicoidal		
1	A	1	S	N	N	S	N	S	N	Inspeccionar espesor de aspas de helicoidal y soldar fisuras si fuese necesario		
1	A	1	S	N	N	S	N	S	N	Revisar integridad de helicoidal y/o cambio		
1	B	1	S	N	N	S	N	S	N	Revisar periódicamente la temperatura de entrada del material		
1	B	2	S	N	N	S	N	S	N	Alinear helicoidal con eje y revisar templadores		
1	B	2	S	N	N	S	N	N	S	Cambiar eje si fuese necesario		
1	C	1	S	N	N	S	N	S	N	Limpiar y engrasar chumaceras		
1	C	1	S	N	N	S	N	N	S	Cambiar chumaceras		
1	D	1	S	N	N	S	N	S	N	Inspeccionar y alinear poleas		
1	D	1	S	N	N	S	N	N	N	Cambiar fajas de transmisión		
1	D	2	S	N	N	S	N	N	S	Cambiar poleas		
1	F	1	S	N	N	S	N	S	N	Revisar parámetros nominales el motor		
1	F	1	S	N	N	S	N	S	N	Inspeccionar y limpiar componentes internos		
1	F	1	S	N	N	S	N	S	N	Inspeccionar nivel de aceite		
1	F	1	S	N	N	S	N	N	S	Cambiar aceite si fuese necesario		

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2.8 Plan de Mantenimiento

El plan de mantenimiento está dirigido para aumentar la disponibilidad de las máquinas y por ende mejorar la eficiencia global de estas, es decir intenta mejorar la confiabilidad en la instalación y disminuir las utilidades no percibidas que se generan por las paradas de producción.

Los planes de mantenimiento desarrollados a continuación se proponen en base a las tareas propuestas en la hoja de decisión del RCM y las reuniones con los técnicos encargados de mantenimiento los cuales se encargan de solucionar las fallas de las máquinas. En la Tabla 84, 85, 86, 87 y 88, se puede observar los planes de mantenimiento de las máquinas críticas, en las que se designó la tarea a realizar, el material, las herramientas, el periodo, el responsable, la condición de la máquina y el tiempo de ejecución.

- **Para la tarea a realizar:** Se tomó en cuenta la hoja de decisión RCM, donde se describe las tareas que previenen las fallas ocurridas en el análisis AMEF, también se tomó en cuenta las opiniones de los operarios y técnicos de mantenimiento debido a que ellos se encuentran relacionas con las máquinas y saben sus fallas.
- **Para el periodo:** Se calculó el Tiempo Medio entre Fallos (MTTF), de los componentes para tener conocimiento de cuando ocurriría la siguiente falla y así poder prevenirla antes que ocurra, además se tomó en cuenta la experiencia de los técnicos (mecánico y electricista), para determinar el periodo que se va a intervenir la máquina.
- **Personal responsable de la tarea:** Se tomó en cuenta la tarea a realizar, es decir si la actividad demanda parte eléctrica el responsable será el técnico electricista, y si su actividad es parte mecánica el responsable será un técnico mecánico.
- **Para el tiempo de ejecución:** Se tomó en cuenta la experiencia de los técnicos encargados de mantenimiento, ya que ellos son los encargados de montar y desmontar las máquinas y saben el tiempo que se tardan en realizar dicha actividad. Cabe resaltar que estos tiempos brindados se compararon con el tiempo medio de reparación de las fallas (MTTR), pues este tiempo no debe ser excedido ya que en él se incluye tiempos logísticos de los repuesto o materiales y lo que se busca es saber solo el tiempo necesario para la dicha actividad.

### **3.2.9 Cronograma de Mantenimiento**

En base al plan de mantenimiento se muestra el cronograma de mantenimiento anual para cada máquina crítica en el periodo 2021, el cual permitirá establecer una planificación de las tareas a realizar por los técnicos encargados con la finalidad de que las tareas de mantenimiento se cumplan en un tiempo determinado, sin embargo, las actividades a realizar por los operarios no se consideraron en este cronograma debido a que es una actividad diaria que ellos realizan al terminar su turno, para lo cual se realizó un Check List dónde monitoreará dichas actividades (Ver Anexo 3).

En las Tablas 89, 90, 91, 92 y 93 se muestra los cronogramas de mantenimiento de las máquinas analizadas.

Tabla 84. Plan de mantenimiento para el Secador

Componente	Tarea	Descripción de la tarea	Material	Herramientas generales	Herramienta	Periodo	Responsable	Condición de máquina	Tiempo de ejecución (h)
Cubierta metálica	Cambio	Cambiar cubierta metálica	Cubierta metálica cilíndrica, Soldadura supercito		Maquina de soldar	4 meses	Mecánico/Soldador	Parada	2 h
Estructura de secador	Inspección	Inspeccionar la integridad de la estructura y soldar si fuese necesario	Soldadura supercito		Maquina de soldar	3 meses	Mecánico/Soldador	Parada	0,5 h
	Limpieza	Limpiar acumulación de material en la estructura	Trapo industrial		Compresor de aire	Diario	Operario	Parada	0,5 h
Paletas de ventilador de calderas	Cambio	Revisar integridad de paletas de ventilador y cambiar si fuese necesario	Paletas para ventilador		-	6 meses	Mecánico	Parada	1 h
Chumaceras	Limpieza y engrase	Limpiar y engrasar chumaceras	Grasa sanitaria SKF y trapo industrial		Aplicador de grasa	Mensual	Mecánico	Parada	0,5 h
	Cambio	Cambiar chumaceras	Chumaceras	Maletín porta herramientas, juego de dados, juego de llaves hexagonales, juego de llaves mixtas Stanley, destornilladores (plano y estrella), wincha, cinta aislante, cincel, comba o martillo, alicate universal, alicate de punta y alicate de corte.	Extractor de rodamientos SKF	Anual	Mecánico	Parada	1 h
	Alineación	Alinear piñones	-		Alineador de poleas SKF TKBA 10, Llave N°24	2 meses	Mecánico	Parada	2 h
Catalina y piñón	Reparación	Reparar o cambiar catalina y piñón si fuese necesario	Juego de engranaje		-	Anual	Mecánico	Parada	4 h
	Lubricación	Lubricar engranaje	Repsol Super Tauro 220 ( Bidón de 20 litros )		Aplicador de aceite	Mensual	Mecánico	Parada	0,5 h
Guías o pistas de rodadura	Limpieza	Realizar limpieza a pistas de rodadura	Trapo industrial		Compresor de aire	Diario	Operario	Parada	0,25 h
	Inspección y cambio	Inspeccionar desgaste de pistas de rodadura y cambiar si fuese necesario	Trapo industrial y pistas de rodadura		-	4 meses	Mecánico	Parada	2 h
Polines	Inspección	Inpeccionar integridad de polines y cambiar si fuese necesario	Trapo industrial, polines		-	6 meses	Mecánico	Parada	2h
	Revisión	Revisión de parámetros de motor	-		Pirómetro y pinza amperimétrica	Semanal	Electricista	En marcha	0,25 h
Motor reductor	Limpieza y barnizado	Inspeccionar componetes internos, limpiar y barnizar bonina para evitar cortocituito	Trapo industrial y barniz		Brocha Tumi 2" y cepillo	6 meses	Electricista	Parada	3h
	Inspección	Inpeccionar nivel de aceite	-		-	Mensual	Mecánico	Parada	0.25
	Lubricación	Cambiar aceite	Aceite		-	Anual	Mecánico	Parada	0.5 h

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 85. Plan de mantenimiento para Molino Refinador

Componente	Tarea	Descripción de la Tarea	Material	Herramientas generales	Herramienta específicas	Periodo	Responsable	Condición de máquina	Tiempo de ejecución (h)
Martillos	Inspección	Inspeccionar desgaste de puntas e invertir lado de martillos si fuese necesario	Trapo industrial		-	4 meses	Mecánico	Parada	2 h
	Cambiar	Cambiar martillos	Juego de martillos		-	Anual	Mecánico	Parada	4h
Cribas	Limpieza	Limpiar acumulación de material	Trapo industrial		Compresor de aire	Diario	Operario	Parada	0,5 h
	Inspección y cambio	Inspeccionar integridad de cribas y cambiar si fuese necesario	Trapo industrial y cribas de acero inoxidable	Maletín porta herramientas, juego de dados, juego de llaves hexagonales,	-	6 meses	Mecánico	Parada	0,5 h
Discos	Inspección	Inspeccionar integridad de discos y soldar si fuese necesario	Trapo industrial, soldadura Inoxidable AW 3/32"	juego de llaves mixtas Stanley, destornilladores	Máquina de soldar	3 meses	Mecánico	Parada	2 h
	Cambio	Revisar gap de desgaste de discos y solicitar cambio si fuese necesario.	Discos	(plano y estrella), wincha, cinta aislante, cincel,	-	6 meses	Mecánico	Parada	2 h
Chumaceras	Limpieza y lubricación	Limpiar y engrasar rodamientos de chumaceras	Grasa sanitaria SKF, trapo industrial	comba o martillo, alicate universal,	Aplicador de grasa	Mensual	Mecánico	Parada	0,5 h
	Cambio	Cambiar chumacera	Chumaceras	alicate de punta y alicate de corte.	Extractor de rodamientos SKF	Anual	Mecánico	Parada	1 h
Fajas de transmisión	Cambio	Revisiar desgaste y/o cambiar fajas de transmisión	Trapo industrial y B95 Correa en V tipo B		-	3 meses	Mecánico	Parada	0, 33 h
Poleas	Inspección y alineación	Inspeccionar integridad y alinear poleas			Alineador de poleas SKF TKBA 10	Mensual	Mecánico	Parada	0,5 h
	Cambio	Cambiar poleas	Poleas		Llaves inglesas 3/4" y 3/8"	6 meses	Mecánico	Parada	1 h

Fuente: Elaboración Propia.



Tabla 86. Plan de mantenimiento para Molino Chancador

Componente	Tarea	Descripción de la Tarea	Material	Herramientas generales	Herramienta	Periodo	Responsable	Condición de máquina	Tiempo de ejecución (h)
Martillos	Inspección	Inspeccionar desgaste de puntas e invertir lado de martillos si fuese necesario	Trapo industrial		-	4 meses	Mecánico	Parada	2 h
	Cambiar	Cambio de juego de martillos	Juego de martillos		-	Anual	Mecánico	Parada	4 h
Cribas	Limpieza	Limpiar acumulación de material y regular la entrada del producto	Trapo industrial		Compresor de aire	Diario	Operario	Parada	0,5 h
	Inpección y cambio	Inspeccionar integridad de cribas y cambiar si fuese necesario	Trapo industrial y criba de acero inoxidable		-	6 meses	Mecánico	Parada	0,5 h
Discos	Inpección	Inspeccionar la integridad de discos y soldar si fuese necesario	Soldadura Tig	Maletín porta herramientas, juego de dados, juego de llaves hexagonales, juego de llaves mixtas	Máquina de soldar Tig	3 meses	Mecánico	Parada	1 h
	Cambio	Revisar gap de desgaste de discos y solicitar cambio si fuese necesario	Discos		-	6 meses	Mecánico	Parada	2 h
Chumaceras	Limpieza y engrase	Limpiar y engrasar rodamientos de chumaceras	Grasa sanitaria SKF, trapo industrial	Stanley, destornilladores (plano y estrella),	Aplicador de grasa	Mensual	Mecánico	Parada	0,5 h
	Cambio	Cambiar chumaceras	Chumaceras	wincha, cinta aislante, cincel, comba o martillo, alicate universal, alicate de punta y alicate de corte.	-	Anual	Mecánico	Parada	1 h
Poleas	Inspección y alineación	Inspeccionar integridad y alinear poleas si fuese necesario	Trapo industrial		Alineador de poleas SKF TKBA 10	Mensual	Mecánico	Parada	0,5 h
	Cambio	Cambiar poleas	Poleas			6 meses	Mecánico	Parada	1 h
Fajas de transmisión	Cambio	Revisiar desgaste y/o cambiar fajas de transmisión	Trapo industrial y B95 Correa en V tipo B			3 meses	Mecánico	Parada	0,33 h
Motor eléctrico	Revisión	Inspeccionar parámetros de motor	-		Pirómetro y pinza amperimétrica	Semanal	Mecánico	En marcha	0, 25 h
	Limpieza	Inspeccionar y limpiar componentes internos de motor, y solicitar cambio si fuese necesario	Trapo industrial		Brocha Tumi 2" y cepillo	6 meses	Electricista	Parada	1 h

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 87. Plan de mantenimiento para Elevador de Cangilones

Componente	Tarea	Descripción de la Tarea	Material	Herramientas generales	Herramienta específicas	Periodo	Responsable	Condición de máquina	Tiempo de ejecución
Banda transportadora	Inpección	Inspeccionar la tensión de la banda transportadora y ajustar si fuese necesario	Trapo industrial		-	3 meses	Mecánico	Parada	0,5 h
	Cambio	Cambiar banda transportadora si fuese necesario	Banda transportadora		-	6 meses	Mecánico	Parada	4 h
	Inspección	Inspeccionar torque de pernos centradores centradores o si falta alguno en los cangilones			-	3 meses	Mecánico	Parada	1 h
Cangilón	Limpieza	Limpiar acumulación de material	Trapo industrial		Compresor de aire	Diario	Operario	Parada	0,5 h
	Cambio	Revisar si existen patrones de desgaste en los cangilones y cambiar cangilones dañados	Cangilón	Maletín porta herramientas, juego de dados, juego de llaves hexagonales, juego de llaves mixtas Stanley, destornilladores( plano y estrella), wincha, cinta aislante, cincel, comba o martillo, alicate universal, alicate de punta y alicate de corte.	-	6 meses	Mecánico	Parada	4 h
Chumaceras	Limpieza y lubricación	Limpiar y engrasar chumacera	Grasa sanitaria SKF, trapo industrial		Aplicador de grasa	Mensual	Mecánico	Parada	0,5 h
	Cambio	Cambiar chumacera	Chumaceras		Extractor de rodamientos SKF	Anual	Mecánico	Parada	1 h
Poleas	Inspección y alineación	Inspeccionar integridad y alinear poleas si fuese necesario	Trapo industrial		Alineador de poleas SKF TKBA 10	Mensual	Mecánico	Parada	0,5 h
	Cambio	Cambiar poleas	Poleas		Llaves inglesas 3/4" y 3/8"	6 meses	Mecánico	Parada	1 h
Fajas de transmisión	Cambio	Cambiar fajas de transmisión	Trapo industrial, fajas de transmisión		-	3 meses	Mecánico	Parada	0,33 h
	Revisión	Revisión de parámetros nominales del motor ( amperaje y temperatura)	-		Pirómetro y pinza amperimétrica	Semanal	Electricista	En marcha	0,25 h
Motor reductor	Limpieza	Inspeccionar y limpiar componentes internos, y/o cambiar motor si fuese necesario	Trapo industrial		Brocha Tumi 2" y cepillo	6 meses	Electricista	Parada	1 hora
	Inspección	Inspeccionar nivel de aceite	-		-	Mensual	Mecánico	Parada	0,17 h
	Lubricación	Cambiar aceite si fuese necesario	Aceite		-	Anual	Mecánico	Parada	0,5 h

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 88. Plan de mantenimiento para el Tornillo Sin Fin N°2

Componente	Tarea	Descripción de la Tarea	Material	Herramientas generales	Herramientas específicas	Periodo	Responsable	Condición de máquina	Tiempo de ejecución
Helicoidal	Limpieza	Realizar limpieza de helicoidal	Trapo industrial		Compresor de aire	Diario	Operario	Parada	0,5 h
	Inspección	Inpeccionar espesor de aspas de helicoidal y soldar fisuras si fuese necesario	Trapo industrial, soldadura Inoxidable AW 3/32"		Máquina de soldar, Vernier o pie de rey	6 meses	Mecánico/ Soldador	Parada	2,5 h
	Cambio	Revisar integridad de helicoidal y/o cambio	Helicoidal		-	Anual	Mecánico	Parada	4 h
	Revisión	Revisar periódicamente la temperatura de entrada del material	-		Pirómetro	Semanal	Mecánico	Parada	0,17 h
Eje	Alineación	Alinear helicoidal con eje y revisar templadores	-		Juego de calibradores y/o vernier	6 meses	Mecánico	Parada	1,5 h
Chumaceras	Cambio	Cambiar eje si fuese necesario	Eje	Maletín porta herramientas, juego de dados, juego de llaves hexagonales, juego de llaves mixtas Stanley, destornilladores( plano y estrella), wincha, cinta aislante, cincel, comba o martillo, alicate universal, alicate de punta y alicate de corte.	-	Anual	Mecánico	Parada	4 h
	Limpieza y lubricación	Limpiar y engrasar chumaceras	Grasa sanitaria SKF, trapo industrial		Aplicador de grasa	Mensual	Mecánico	Parada	0,5 h
	Cambio	Cambiar chumaceras	Chumaceras		Extractor de rodamientos SKF	Anual	Mecánico	Parada	1 h
Poleas	Inspección y alineación	Inpeccionar integridad y alinear poleas si fuese necesario	Trapo industrial		Alineador de poleas SKF TKBA 10, llaves inglesas 3/4" y 3/8"	Mensual	Mecánico	Parada	0,5 h
Faja de transmisión	Cambio	Cambiar poleas	Poleas de 5" y de 7"		Llaves inglesas 3/4" y 3/8"	6 meses	Mecánico	Parada	1 h
	Cambio	Cambiar fajas de transmisión	Fajas de transmisión		-	3 meses	Mecánico	Parada	0,33 h
Motor reductor	Revisión	Revisión de parámetros nominales del motor ( amperaje y temperatura)	-		Pirómetro y pinza amperimétrica	Semanal	Mecánico	En Marcha	0,25 h
	Limpieza	Inpeccionar y limpiar componentes internos, y/o cambiar motor si fuese necesario	Trapo industrial		Brocha Tumi 2" y cepillo	6 meses	Mecánico	Parada	1 h
	Inspección	Inpeccionar nivel de aceite	-		-	Mensual	Mecánico	Parada	0,17 h
	Lubricación	Cambiar aceite si fuese necesario	Aceite		-	Anual	Mecánico	Parada	0,5 h

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 89.Cronograma de Mantenimiento para el Secador

Componente	Actividad	Mes																																															
		Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Cubierta metálica	Cambiar cubierta metálica															4M																	4M																4M
Estructura de secador	Inspeccionar la integridad de la estructura y soldar si fuese necesario											3M												3M											3M												3M		
Paletas de ventilador de calderas	Inpeccionar la integridad de paletas de ventilador											3M												3M											3M											3M			
	Cambiar paletas de ventilador																							6M																						6M			
Chumaceras	Limpiar y engrasar chumaceras			M				M				M				M				M				M			M				M			M			M			M				M			M		
	Cambiar chumaceras																																														A		
	Alinear piñones							2M								2M								2M							2M					2M											2M		
Catalina y piñón	Reparar o cambiar catalina y piñón si fuese necesario																																													A			
	Lubricar engranaje			M				M				M				M				M				M			M				M			M			M			M				M			M		
Guías o pistas de rodadura	Inspeccionar el estado pistas de rodadura							2M								2M								2M							2M					2M											2M		
	Reparar o cambiar pistas de rodadura																																																
	Inpeccionar integridad de polines											3M													3M												3M										3M		
Polines	Cambiar polines																							6M																							6M		
	Revisión de parámetros de motor	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
Motor reductor	Inspección y limpieza de componentes internos																							6M																							6M		
	Inspección de nivel de aceite			M				M				M				M				M				M			M				M			M			M			M				M			M		
	Cambiar aceite																																														A		
																		Semanal	S	4 meses	4M																												
																		Mensual	M	6 meses	6M																												
																		2 meses	2M	Anual	A																												
																		3 meses	3M																														

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 90. Cronograma de Mantenimiento para el Molino Refinador

Componente	Actividad	Mes																																															
		Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Martillos	Inspeccionar desgaste de puntas e invertir lado de martillos															4M																4M																3M	
	Cambiar martillos																							6M																							6M		
Cribas	Inspeccionar integridad de cribas											3M												3M										3M												3M			
	Cambiar cribas si fuese necesario																					M		6M																							6M		
Discos	Inspeccionar integridad de discos y soldar si fuese necesario			M				M				M				M								M			M			M			M			M			M					M			M		
	Revisar gap de desgaste de discos y solicitar cambio si fuese necesario											3M												3M									3M													3M			
Chumaceras	Limpiar y engrasar rodamientos de chumaceras			M				M				M				M				M				M			M			M			M			M			M					M			M		
	Cambiar chumacera																																														A		
Fajas de transmisión	Cambiar fajas de transmisión			M				M				M				M				M				M			M			M			M			M			M					M			M		
	Cambiar fajas de transmisión											3M												3M										3M												3M			
Poleas	Inspeccionar integridad y alinear poleas			M				M				M				M				M				M			M			M			M			M			M					M			M		
	Cambiar poleas																																																

Mensual

M

3 meses

3M

4 meses

4M

6 mes

6M

Anual

A

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 91. Cronograma de Mantenimiento para el Molino Chancador

Componente	Actividad	Mes																																															
		Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Martillos	Inspeccionar desgaste de puntas e invertir lado de martillos si fuese necesario															4M																	4M															3M	
	Cambio de juego de martillos																								6M																						6M		
Cribas	Inspeccionar integridad de cribas												3M											3M											3M												3M		
	Solicitar cambiar cribas																							6M																							6M		
Discos	Inspeccionar la integridad de discos y soldar si fuese necesario			M				M				M			M			M			M			M			M			M			M			M			M			M			M			M	
	Revisar gap de desgaste de discos y solicitar cambio											3M												3M										3M													3M		
Chumaceras	Limpiar y engrasar rodamientos de chumaceras			M				M				M			M			M			M			M			M			M			M			M			M			M			M			M	
	Cambiar chumaceras																																														A		
Poleas	Inspeccionar integridad y alinear poleas			M				M				M			M			M			M			M			M			M			M			M			M			M			M			M	
	Solicitar cambiar poleas																							6M																									
Fajas de transmisión	Inspeccionar estado de fajas de transmisión			M				M				M			M			M			M			M			M			M			M			M			M			M			M			6M	
	Solicitar cambiar fajas											3M												3M											3M												3M		
Motor eléctrico	Inspeccionar parámetros nominales	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
	Inspeccionar y limpiar componentes internos																								6M																							6M	

Semanal

Mensual

3 meses

4 meses

6 mes

Anual

S

M

3M

4M

6M

A

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 92.Cronograma de Mantenimiento para el Elevador de Cangilones**

[illegible]

Semanal	S
Mensual	M
3 meses	3M
6 mes	6M
Anual	A

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 93.Cronograma de Mantenimiento para el Tornillo Sin Fin N°2**

Componente	Actividad	Mes																																															
		Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Helicoidal	Inpeccionar espesor de aspas de helicoidal y soldar fisuras si fuese necesario																								6M																								6M
	Revisar integridad de helicoidal y/o cambio																																																A
Eje	Revisar periódicamente la temperatura de entrada del material	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
	Alinear helicoidal con eje y revisar templadores																								6M																								6M
Chumaceras	Cambiar eje si fuese necesario																																																A
	Limpiar y engrasar chumaceras				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M
Poleas	Cambiar chumaceras				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M
	Inspeccionar integridad y alinear poleas si fuese necesario				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				
Fajas de transmisión	Cambiar poleas																								6M																								6M
	Inspeccionar estado de fajas de transmisión	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
	Cambiar fajas de transmisión												3M																	3M																	3M		
Motor reductor	Revisión de parámetros nominales del motor	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
	Inpeccionar y limpiar componentes internos																								6M																								6M
	Inspeccionar nivel de aceite				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				
	Cambiar aceite si fuese necesario																																																A
																		Semanal	S																														
																		Mensual	M																														
																		3 meses	3M																														
																		6 mes	6M																														
																		Anual	A																														



### 3.2.10 Procedimientos de mantenimiento

El tener procedimientos en los métodos de trabajo es de gran importancia para asegurar una adecuada implementación de planes de mantenimiento que contribuyan a incrementar una mayor confiabilidad de las máquinas en la línea de producción de la empresa, evitando así, futuros problemas.

Por lo tanto, se realizaron procedimientos de mantenimiento correctivo y preventivo para la empresa Gemar Group E. I. R. L. (Ver Anexo 8)

### 3.2.11 Capacitación de personal

Para contribuir a realizar el correcto mantenimiento preventivo, se consideró necesario capacitar a los encargados de mantenimiento: supervisor de mantenimiento (1), técnico mecánico (1) y técnico eléctrico (1); en “Gestión del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad”. Cabe resaltar que para elegir la capacitación adecuada se analizó la cotización enviada por TECSUP y los detalles fueron especificados en la Tabla 94, la cual indica los temas a tratar, talleres y duración del curso. El precio de dicha capacitación es de S/ 1 269 para 3 participantes.

Por otro lado, el supervisor de mantenimiento tendrá la responsabilidad de actualizar cada año las tareas de mantenimiento que se deben cumplir, teniendo como registro el historial de fallas del año anterior.

**Tabla 94. Capacitación para encargados de mantenimiento**

<b>Nombre</b>	<b>Gestión del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad</b>
<b>Licencia Habilitante Participante</b>	TECSUP
<b>Acerca del programa</b>	El curso desarrolla el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) como eje de la Ingeniería de Confiabilidad en Mantenimiento; enfocándose en el reconocimiento, jerarquización y priorización de los sistemas productivos. Se estudian las siete preguntas básicas que forman parte del proceso RCM.
<b>Dirigido a</b>	Supervisores y encargados de mantenimiento y operaciones
<b>Competencias a desarrollar</b>	El RCM, alcances y limitaciones. Introducción al mantenimiento centrado en la confiabilidad. Las funciones de los equipos. Las fallas funcionales. Análisis de modos y efectos (FMEA). Las consecuencia de las fallas.
<b>Participantes</b>	3
<b>Inversión Económica</b>	S/ 1 269
<b>Duración</b>	42 horas (6 semanas)

Fuente: TECSUP, 2020.

### 3.2.12 Tiempo total de mantenimiento preventivo programado

En la Tabla 95, 96, 97, 98 y 99 se muestra el tiempo programado para el mantenimiento preventivo del Secador, Elevador de Cangilones, Tornillo Sin Fin N°2, Molino Chancador y Molino Refinador respectivamente.

**Tabla 95. Tiempo de mantenimiento preventivo para el Secador**

Componente	Descripción de la tarea	Modo	Tiempo requerido(h)	N° intervenciones	Tiempo anual de parada (h)
Cubierta metálica	Cambiar cubierta metálica	Parada	2	3	6
Estructura de secador	Inspeccionar la integridad de la estructura y soldar si fuese necesario	Parada	0,5	4	2
Paletas de ventilador de calderas	Revisar integridad de paletas de ventilador y cambiar si fuese necesario	Parada	1	2	2
Chumacera	Limpiar y engrasar chumaceras	Parada	0,5	12	6
	Cambiar chumaceras	Parada	1	1	1
	Alinear piñones	Parada	2	6	12
Engranaje	Reparar o cambiar catalina y piñón si fuese necesario	Parada	4	1	4
	Lubricar engranaje	Parada	0,5	12	6
Guías o pista de rodadura	Inspeccionar desgaste de pistas de rodadura y/o cambiar	Parada	2	3	6
Polines	Inspeccionar integridad de polines y/o cambiar	Parada	2	2	4
	Revisión de parámetros de motor	En marcha	0,25	-	-
Motor reductor	Inspeccionar componentes internos, limpiar y barnizar bobina de motor	Parada	3	2	6
	Inspeccionar nivel de aceite	Parada	0,25	12	3
	Cambiar aceite	Parada	0,5	1	0,5
<b>Total</b>				<b>61</b>	<b>58,5</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 96. Tiempo de mantenimiento preventivo para Elevador de Cangilones**

Componente	Descripción de la tarea	Modo	Periodo	Tiempo requerido(h)	N° intervenciones	Tiempo anual de parada (h)
Banda transportadora	Inspeccionar la tensión de la banda transportadora y ajustar si fuese necesario	Parada	3 meses	0,5	4	2
	Cambiar banda transportadora si fuese necesario	Parada	6 meses	4	2	8
Cangilones	Inspeccionar torque de pernos centradores o si falta alguno en los cangilones	Parada	3 meses	1	4	4
	Revisar si existen patrones de desgaste en los cangilones y cambiar cangilones dañados	Parada	6 meses	4	2	8
Chumacera	Limpiar y engrasar chumacera	Parada	Mensual	0,5	12	6
	Cambiar chumacera	Parada	Anual	1	1	1
Poleas	Inspeccionar integridad y alinear poleas si fuese necesario	Parada	Mensual	0,5	12	6
	Cambiar poleas	Parada	6 meses	1	2	2
Fajas de transmisión	Cambiar fajas de transmisión	Parada	3 meses	0,33	4	1,32
Motor reductor	Revisar parámetros nominales del motor	En marcha	Semanal	0,25	-	-
	Inspeccionar y limpiar componentes internos	Parada	6 meses	1	2	2
	Inspeccionar nivel de aceite	Parada	Mensual	0,17	12	2,04
	Cambiar aceite	Parada	Anual	0,5	1	0,5
<b>Total</b>					<b>58</b>	<b>42,86</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 97. Tiempo de mantenimiento preventivo para Tornillo Sin Fin N°2**

Componente	Descripción de la tarea	Modo	Tiempo requerido(h)	N° intervenciones	Tiempo anual de parada (h)
Helicoidal	Inspeccionar espesor de aspas de helicoidal y soldar fisuras si fuese necesario	Parada	2,5	2	5
	Revisar integridad de helicoidal y/o cambio	Parada	4	1	4
Eje	Revisar periódicamente la temperatura de entrada del material	En marcha	0,17		-
	Alinear helicoidal con eje y revisar templadores	Parada	1,5	2	3
	Cambiar eje si fuese necesario	Parada	4	1	4
Chumaceras	Limpiar y engrasar chumaceras	Parada	0,5	12	6
	Cambiar chumaceras	Parada	1	1	1
Poleas	Inspeccionar integridad y alinear poleas si fuese necesario	Parada	0,5	12	6
	Cambiar poleas	Parada	1	2	2
Faja de transmisión	Cambiar fajas de transmisión	Parada	0,33	4	1,32
Motor reductor	Revisión de parámetros nominales del motor (amperaje y temperatura)	En marcha	0,25	-	-
	Inspeccionar y limpiar componentes internos	Parada	1	2	2
	Inspeccionar nivel de aceite	Parada	0,17	12	2,04
	Cambiar aceite si fuese necesario	Parada	0,5	1	0,5
<b>Total</b>				52	36,86

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 98. Tiempo de mantenimiento preventivo para Molino Chancador**

Componente	Descripción de la tarea	Modo	Tiempo requerido(h)	N° intervenciones	Tiempo anual de parada(h)
Martillos	Inspeccionar desgaste de puntas e invertir lado de martillos si fuese necesario	Parada	2	3	6
	Cambio de juego de martillos	Parada	4	1	4
Cribas	Inspeccionar integridad de cribas y cambiar si fuese necesario	Parada	0,5	2	1
Discos	Inspeccionar la integridad de discos y soldar si fuese necesario	Parada	2	4	8
	Revisar gap de desgaste de discos y solicitar cambio si fuese necesario	Parada	2	2	4
Chumaceras	Limpiar y engrasar rodamientos de chumaceras	Parada	0,5	12	6
	Cambiar chumaceras	Parada	1	1	1
Poleas	Inspeccionar integridad y alinear poleas si fuese necesario	Parada	0,5	12	6
	Solicitar cambiar poleas	Parada	1	2	2
Fajas	Inspeccionar estado de fajas de transmisión	Parada	0,17	12	2,04
	Cambiar fajas de transmisión	Parada	0,33	4	1,32
Motor eléctrico	Inspeccionar parámetros de motor	En marcha	0,25	-	-
	Inspeccionar y limpiar componentes internos de motor	Parada	1	2	2
<b>Total</b>				<b>57</b>	<b>43,36</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 99. Tiempo de mantenimiento preventivo para Molino Refinador**

Componente	Descripción de la tarea	Modo	Tiempo requerido(h)	N° intervenciones	Tiempo anual de parada (h)
Martillos	Inspeccionar desgaste de puntas e invertir lado de martillos si fuese necesario	Parada	2	3	6
	Cambiar martillos	Parada	4	1	4
	Cambiar cribas	Parada	0,5	2	1
Discos	Inspeccionar integridad de discos y soldar si fuese necesario	Parada	2	4	8
	Revisar gap de desgaste de discos y solicitar cambio si fuese necesario.	Parada	2	2	4
Chumaceras	Limpiar y engrasar rodamientos de chumaceras	Parada	0,5	12	6
	Cambiar chumacera	Parada	1	1	1
	Cambiar fajas de transmisión	Parada	0,33	4	1,32
Poleas	Inspeccionar integridad y alinear poleas si fuese necesario	Parada	0,5	12	6
	Cambiar poleas	Parada	1	2	2
<b>Total</b>				<b>43</b>	<b>39,32</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 100, se muestra la reducción de tiempo de parada respecto al mantenimiento preventivo propuesto del Secador Rotatorio, Molino Refinador, Molino Chancador, Elevador y Sin Fin N°2

**Tabla 100. Reducción de tiempo de parada después de la propuesta**

Máquina	Tiempo de parada sin mantenimiento preventivo	Tiempo de parada con mantenimiento preventivo(h)	Reducción de tiempo de paradas(h)	% Mejora
SEC	154,39	58,5	95,89	62%
MOR	97,15	39,32	57,83	60%
ELV	98,49	43,36	55,13	56%
MOC	100,78	42,86	57,92	57%
SF2	90,2	36,86	53,34	59%
<b>TOTAL</b>	<b>541,01</b>	<b>220,90</b>	<b>320,11</b>	<b>59%</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.13 Nuevos indicadores de mantenimiento después de la mejora

#### a) Tiempo promedio operativo hasta el fallo (MTTF)-Confiabilidad

Para calcular la confiabilidad se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Tiempo total programado para producción: 2 496 horas
- Tiempo total de inactividad: Se obtuvo al restar el tiempo total de paradas antes de la mejora y las horas totales de parada después del plan de mantenimiento:  
 $739,08h - (95,89 h + 57,83 h + 55,13 h + 57,92 h + 53,34 h) = 418,97 h$
- Número de fallas: 37 (no se incluye fallas de las máquinas con propuesta de mantenimiento preventivo)

Por lo tanto, con los datos anteriores, se obtuvo el MTTF total de las máquinas teniendo los siguientes datos:

$$MTTF = \frac{\text{Tiempo total de Operación hasta el fallo (TTO)}}{\text{Número de fallas totales}}$$

$$MTTF = \frac{(2\,496h - 418,97h)}{37 \text{ fallas}}$$

$$MTTF = 56,14 h$$

Obteniendo así, que cada 56,14 horas se origina una falla.

#### b) Tiempo promedio de reparación (MTTR)

Para calcular el tiempo promedio de reparación se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Tiempo total en reparar: Se calculó de la resta de las horas totales de parada antes de la propuesta de mantenimiento y las horas de parada con la mejora:  $739,08h - (95,89 h + 57,83 h + 55,13 h + 57,92 h + 53,34 h) = 418,97 h$
- Número de fallas: Se obtiene a partir de la suma del número de intervenciones empleadas en el mantenimiento preventivo, el cual fue un total de 271 intervenciones (ver tabla 68,69,70,71 y 72) y el número de fallas (37, de las máquinas a las que no se aplica el mantenimiento preventivo).

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total para reparar fallos}}{\text{Número total de fallos}} = \frac{\sum TTR}{n}$$

$$MTTR = \frac{418,97 h}{37+271}$$

$$MTTR = 1,36 h$$

Obteniendo así, un promedio de 1,36 horas de reparación por falla.

### c) Indicador de Disponibilidad después de la mejora

Para calcular la disponibilidad se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Tiempo total programado para producción: 2496 horas
- Tiempo total de inactividad: Se obtuvo al restar el tiempo total de paradas antes de la mejora y las horas totales de parada después del plan de mantenimiento: 739,08h 08h – (95,89 h + 57,83 h + 55,13 h + 57,92 h + 53,34 h) = 418,97 h

$$\text{Disponibilidad operativa} = \frac{\text{horas operativas} - \text{horas inoperativas}}{\text{horas operativas}} \times 100$$

$$\text{Disponibilidad operativa} = \frac{2\,496\,h - 418,97\,h}{2\,496\,h} \times 100$$

$$\text{Disponibilidad operativa} = 83,21\%$$

Se obtiene así, que la empresa con la propuesta del plan de mantenimiento preventivo tendrá una disponibilidad de 83,21%, significando un incremento del 12,82% a lo que presenta actualmente.

### d) Tasa de ejecución

Después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo se reducen las horas de parada y por ende su producción se incrementa (Ver Tabla 101), teniendo así una nueva tasa de ejecución de 83,22%.

**Tabla 101. Nueva producción de sacos de sal seca de 50 kg**

Producción ideal (sacos)	Producción real sin mejora (sacos)	Reducción de tiempo de paradas (h)	Producción por hora (sacos)	Incremento de producción	Producción real con mejora (sacos)
149 760	105 416	320,11	60	19 207	124 623

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Tasa de Ejecución} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción ideal}} \times 100$$

$$\text{Tasa de Ejecución} = \frac{124\,623\,sacos}{149\,760} \times 100$$

$$\text{Tasa de Ejecución} = 83,22\%$$

Se obtuvo así, una tasa de ejecución de las máquinas en el año 2 019 de 83,22 %.



### e) Calidad

Después de a la propuesta de mantenimiento preventivo en las máquinas de secado y molienda, se evitan los productos defectuosos y por ende las pérdidas económicas, teniendo así el nuevo indicador de calidad de 100%. En la Tabla 102, se muestra la nueva producción conforme de sacos de sal de 50 kg.

**Tabla 102. Producción de productos conformes después de la mejora**

<b>Producción real sin mejora (sacos)</b>	<b>Producción real con mejora (sacos)</b>	<b>Productos conformes sin mejora (sacos)</b>	<b>Productos conformes con mejora(sacos)</b>
105 416	124 623	88 088	124 623

Fuente: Elaboración propia.

$$Calidad = \frac{Unidades\ Conformes}{Producción\ Real} \times 100\%$$

$$Calidad = \frac{124\ 623\ sacos}{124\ 623\ sacos} \times 100\%$$

$$Calidad = 100\ \%$$

Se obtuvo así, una calidad en los productos en el año 2 019 de 100%.

### f) Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Al tener los indicadores de tasa de ejecución, calidad y disponibilidad, se procede a calcular el nuevo indicador de eficiencia global de las máquinas:

$$OEE = Disponibilidad \times Tasa\ de\ Ejecución \times Calidad$$

$$OEE = 83,21\% \times 83,22\% \times 100\%$$

$$OEE = 69,25\ \%$$

Se obtuvo así, una nueva eficiencia en la utilización de las máquinas con la propuesta del plan de mantenimiento de 69, 07 % logrando un aumento del 27,71 %, la cual se califica como aceptable, ya que la empresa labora 8 horas al día y se encuentra en proceso de mejora.

### 3.2.14 Impacto económico después de la mejora

- **Utilidades no percibidas**

Para calcular las nuevas utilidades no percibidas después de la mejora, se tomó el nuevo tiempo de parada de las máquinas a las que se realizó los planes de mantenimiento preventivo y el tiempo de paradas por fallas de las máquinas con mantenimiento correctivo que no se realizó la propuesta del plan, a esto se multiplicó por la producción por hora y por la utilidad de cada saco de sal seca de 50 kg, generándose así un total de S/ 131 724,17 de utilidades no percibidas.( Ver tabla 103.)

**Tabla 103. Utilidad no percibida después de la mejora**

Máquinas y equipos	Tiempo de paradas(h)	Producción (sacos/h)	Unidades no producidas (sacos)	Utilidad (S// saco)	Utilidades no percibidas (S/)
SEC	58,50	60	3 510	5,24	18 392,40
ELV	42,86	60	2 572	5,24	13 475,18
MOR	39,32	60	2 359	5,24	12 362,21
MOC	43,36	60	2 602	5,24	13 632,38
SF1	26,60	60	1 596	5,24	8 363,04
SF2	36,86	60	2 212	5,24	11 588,78
SF3	36,65	60	2 199	5,24	11 522,76
TAM	35,00	60	2 100	5,24	11 004,00
MEA	12,13	60	728	5,24	3 813,67
MEI	24,30	60	1 458	5,24	7 639,92
ENF	51,39	60	3 083	5,24	16 157,02
COS	7,00	60	420	5,24	2 200,80
BAL	5,00	60	300	5,24	1 572,00
<b>Total (S/)</b>					<b>S/ 131 724,17</b>

Fuente: Elaboración propia

Anteriormente se tenía una utilidad no percibida de S/ 323 584,67 y con la mejora se redujo a S/ 131 724,17 lo cual representa un 22,22 % de sus utilidades perdidas respecto a sus utilidades totales esperadas (utilidades que se percibieron en el año 2019, S/ 461 162 y las nuevas utilidades no percibidas).

Por lo tanto, las utilidades no percibidas con la propuesta disminuyen en un 19,01 %, generando un beneficio de S/191 860,67.

$$\text{Utilidades no percibidas (\%)} = \frac{\text{Utilidades no percibidas}}{\text{Utilidades totales esperadas}} \times 100$$

$$\text{Utilidades no percibidas (\%)} = \frac{S/ 131\,724,17}{S/ 131\,724,17 + S/ 461\,162.02} \times 100$$

$$\text{Utilidades no percibidas (\%)} = 22,22 \%$$

### 3.2.15 Comparación de indicadores después de la propuesta

En la Tabla 104, se muestra la comparación de los indicadores de la propuesta y de los actuales en la empresa Germar Group E. I. R. L.

**Tabla 104. Comparación de nuevos indicadores de la propuesta**

Descripción	Indicadores antes de la propuesta	Indicadores actuales			
	Fórmula	Indicador	Objetivo	Indicador	Variación
Tiempo de paradas	$\Sigma = \text{Total de horas de parada}$	739,08 h	Disminuir el tiempo de paradas	418,97 h	Disminuyó en 320,11 h
Tiempo promedio operativo hasta el fallo (MTTF) -Confiabilidad	$\frac{\text{Tiempo total de operación hasta el fallo (TTO)}}{\text{Número de fallas totales}}$	12,73 h	Incrementar el tiempo operativo de las máquinas	56,14 h	Incrementó en 43,41 h
Tiempo promedio de reparación (MTTR)	$\frac{\text{Tiempo total para reparar fallos}}{\text{Número total de fallos}}$	5,36 h	Disminuir el tiempo promedio fuera de servicio	1,36 h	Disminuyó en 4 h
Disponibilidad	$\frac{\text{horas operativas. horas inoperativas}}{\text{horas oerativas}} \times 100$	70,39 %	Incrementar la disponibilidad de las máquinas	83,21%	Incrementó en 12,82 %
Total OEE	Disponibilidad x Tasa de ejecución x Calidad	41,36 %	Incrementar la eficiencia global de las máquinas	69,25 %	Incrementó en 27,89 %
Utilidad no percibida anual	$\Sigma = \text{Total de utilidades no percibidas}$	S/ 323 584,67	Disminuir las utilidades no percibidas	S/ 131 724,27	S/ 191 862
Porcentaje de las utilidades no percibidas respecto a las utilidades totales esperadas	$\frac{\text{Utilidades no percibidas}}{\text{Utilidades totales esperadas}} \times 100$	41,23 %	Disminuir el porcentaje de utilidades no percibidas	22,22%	Disminuyó en 19, 01 %

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 COSTO BENEFICIO

#### 3.3.1 Determinación de costos de herramientas, materiales y repuestos

En este ítem se determina el costo de inversión que implica la propuesta de implementación del plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad.

##### a) Costos de herramientas generales

En la Tabla 105, se muestra el costo de las herramientas necesarias para el desarrollo del plan de mantenimiento, teniendo un total de S/ 7 476,57.

**Tabla 105. Costo anual de herramientas generales para mantenimiento**

Herramientas	Cantidad	Unidad	Costo (S/)
Grasera industrial 6000 lb/" 14 onzas	1	Unidad	S/ 54,90
Extractor de rodamientos Jomafa	1	Unidad	S/ 120,40
Alineador de poleas SKF TKBA 10	1	Unidad	S/ 6 621,08
Aceitera con pico flexible 180 ml	1	Unidad	S/ 20,80
Pirómetro	1	Unidad	S/ 469,99
Pinza amperimétrica	1	Unidad	S/ 69,90
Brocha Tumi 2"	1	Unidad	S/ 9,90
Cepillo	3	Unidad	S/ 6,70
Vernier	1	Unidad	S/ 64,90
Stanley calibrador 0.051-0.889MM 36H 78-214	1	Unidad	S/ 8,00
<b>Total</b>			<b>S/ 7 476,57</b>

Fuente: Alibaba y Sodimac, 2020.

##### b) Costos de materiales generales

En la Tabla 106, se muestra el costo anual de los materiales generales necesarios para el desarrollo del plan de mantenimiento, teniendo un total de S/ 3 072,69.

**Tabla 106. Costo anual de materiales generales para mantenimiento**

Materiales	Cantidad	Unidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
Trapo industrial	25	kg	S/ 6,00	S/ 150,00
Grasa uso general LGMT 3/18 SKF	2	Cubo	S/ 728,81	S/ 1 457,62
Aceite Castrol Alpha SP 220, 20L	1	Bidón	S/ 249,17	S/ 249,17
Soldadura Supercito	10	kg	S/ 12,71	S/ 127,10
Soldadura Inoxidable AW 3/32"	7	kg	S/ 75,00	S/ 525,00
Repsol Super Tauro de 20 litros	2	Bidón	S/ 161,90	S/ 323,80
Barniz industrial para motores eléctricos	2	Galón	S/ 120,00	S/240,00
<b>Total</b>				<b>S/ 3 072,69</b>

Fuente: Alibaba y Sodimac, 2020.

### c) Costos de repuestos de las máquinas

A continuación, se muestra el costo anual de los repuestos según cambios de cada máquina crítica en el plan de mantenimiento.

En la Tabla 107, se muestra el costo total anual de los repuestos del Secador, siendo un total de S/ 21 945,68.

**Tabla 107. Costo anual de repuestos para el Secador**

Repuestos	Cantidad	Unidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
Cubierta metálica de fierro	3	Unidad	S/ 2 500,00	S/ 7 500,00
Paletas de ventilador	6	Unidad	S/ 300,00	S/ 1 800,00
Chumaceras partidas SFK-1 ½"	8	Unidad	S/ 105,71	S/ 845,68
Juego de engranaje	1	Juego	S/ 3 000,00	S/ 3 000,00
Pistas de rodadura de platina sólida de 10 cm x 2"	6	Unidad	S/ 500,00	S/ 3 000,00
Polines 10 cm x 4"	8	Unidad	S/ 725,00	S/ 5 800,00
<b>Total</b>				<b>S/ 21 945,68</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

En la Tabla 108, se muestra el costo total anual de los repuestos del Molino Refinador, siendo un total de S/ 4 011,26.

**Tabla 108. Costo anual de repuestos para el Molino Refinador**

Repuestos	Cantidad	Unidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
Juego de 80 martillos de 1/4"	1	Juego	S/ 1 132,70	S/ 1 132,70
Cribas de acero inoxidable de 1,5 mm	2	Unidad	S/ 200,00	S/ 400,00
Juego de 5 discos	2	Juego	S/ 600,00	S/ 1200,00
Chumaceras partidas de 2"	2	Unidad	S/ 188,00	S/ 376,00
B 95- Faja en V tipo B	16	Unidad	S/ 17,66	S/ 282,56
Polea motriz 4" x 4B	2	Unidad	S/ 90,00	S/ 180,00
Polea conducida 8" X 4B	2	Unidad	S/ 220,00	S/ 440,00
<b>Total</b>				<b>S/ 4 011,26</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

En la Tabla 109, se muestra el costo total anual de los repuestos del Molino Chancador, siendo un total de S/ 3 699,34.

**Tabla 109. Costo anual de repuestos para el Molino Chancador**

Repuestos	Cantidad	Unidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
Juego de 56 martillos de 3/8"	1	Juego	S/ 1 132,70	S/ 1 132,70
Cribas de acero inoxidable 10 mm	2	Unidad	S/ 200,00	S/ 400,00
Juego de 5 discos	2	Juego	S/ 600,00	S/ 1 200,00
Chumaceras partidas 2"	2	Unidad	S/ 188,00	S/ 376,00
B109-Faja en V Tipo B	4	Unidad	S/ 17,66	S/ 70,64
Polea de aluminio de 8"X 3B	2	Unidad	S/ 190,00	S/ 380,00
Polea de aluminio de 4"X 3B	2	Unidad	S/ 70,00	S/ 140,00
<b>Total</b>				<b>S/ 3 699,34</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

En la Tabla 110, se muestra el costo total anual de los repuestos del Elevador de Cangilones, siendo un total de S/ 4 049,48.

**Tabla 110. Costo anual de repuestos para el Elevador de Cangilones**

Repuesto	Cantidad	Unidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
Banda transportadora sanitaria de 8,5 m	2	Unidad	S/ 350,00	S/ 700,00
Juego de 28 cangilones	1	Juego	S/ 2520,00	S/ 2 520,00
Chumaceras de pared SKF - 1 ¼"	2	Unidad	S/ 121,03	S/ 242,06
Chumaceras partidas SKF-1 ½"	2	Unidad	S/ 105,71	S/ 211,42
Polea de aluminio-8" x 2B	2	Unidad	S/ 90,00	S/ 180,00
Polea de aluminio-4" x 2B	2	Unidad	S/ 30,00	S/ 60,00
B64-Faja en V Tipo B	8	Unidad	S/ 17,00	S/ 136,00
<b>Total</b>				<b>S/ 4 049,48</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

En la Tabla 111, se muestra el costo total anual de los repuestos del Tornillo Sin Fin N°2, siendo un total de S/ 3 664,24.

**Tabla 111. Costo anual de repuestos para el Tornillo Sin Fin N°2**

Repuesto	Cantidad	Unidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
Eje 2 ½" de cédula 40	1	Unidad	S/ 1 060,84	S/ 1 060,84
Helicoidal de 16 aspas	1	Unidad	S/ 2 000,00	S/ 2 000,00
Chumaceras de pared SKF-1 ½"	2	Unidad	S/ 105,71	S/ 211,42
Polea de aluminio- 5"x 2B	2	Unidad	S/ 60,00	S/ 120,00
Polea de aluminio -7" x 2B	2	Unidad	S/ 80,00	S/ 160,00
B53-Faja en V Tipo B	8	Unidad	S/ 14,00	S/ 112,00
<b>Total</b>				<b>S/ 3 664,26</b>

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

### 3.3.2 Costo de mano de obra

La propuesta del plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad implica contratar a un técnico mecánico para minimizar los tiempos de reparación, lo cual significa que el técnico mecánico anterior quede encargo del área, cumpliendo la función de jefe de mantenimiento, sin embargo, el técnico eléctrico se mantendría para poner en marcha las máquinas. Por lo tanto, la mano de obra anual de la propuesta del nuevo mecánico es S/ 19 395. (Ver Tabla 112)

**Tabla 112. Costo anual de la nueva propuesta de mano de obra de mantenimiento**

Ítem	Cargo	Cantidad	Sueldo mensual	Asignación familiar	Gratificación	CTS.	Costo anual	Provisión mensual
Situación actual	Jefe de Mantenimiento	1	S/ 1 400	S/ 93	S/ 2986	S/ 1493	S/ 22 395	S/ 1 866,25
Situación actual	Técnico Eléctrico	1	S/ 1 200	S/ 93	S/ 2586	S/ 1293	S/ 19 395	S/ 1 616,25
<b>Propuesta</b>	<b>Técnico Mecánico</b>	<b>1</b>	<b>S/ 1 200</b>	<b>S/ 93</b>	<b>S/ 2586</b>	<b>S/ 1293</b>	<b>S/ 19 395</b>	<b>S/ 1 616,25</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3 Costo de capacitaciones

Las capacitaciones del mantenimiento centrado en la confiabilidad se brindarán al personal de mantenimiento, la cual estará encargada por la empresa TECSUP, teniendo un costo total de S/ 1260 (Ver detalles en Tabla 94)

### 3.3.4 Costo de materiales de oficina

Los materiales o útiles de oficina como hojas bond, archivadores, correctores, lapiceros, reglas, etc., son brindadas por la administración de la empresa, sin embargo, se consideró un monto de S/ 100 para cualquier imprevisto, haciendo un total de S/ 203,50. Cabe resaltar que dichos formatos para realizar los planes de mantenimiento serán impresos en la administración, ya que cuenta con una impresora multifuncional. (Ver Tabla 113)



**Tabla 113. Materiales de oficina**

<b>Materiales de oficina</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (S/)</b>	<b>Costo total (S/)</b>
Archivador plastificado para formatos de mantenimiento	4	S/ 4,7	S/ 18,80
Millar de papel bond A-4	7	S/ 12,1	S/ 84,70
Útiles de oficina	-	-	S/ 100,00
<b>Total</b>			<b>203,50</b>

Fuente: Tai Loy, 2020.

### 3.3.5 Inversión total de la propuesta

En la Tabla 114, se detalla la inversión total de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad, siendo un total de S/ 68 786,78.

**Tabla 114. Inversión total de la propuesta**

<b>Descripción</b>	<b>Costo anual(S/)</b>
Costo de materiales	S/ 3 072,69
Costo de herramientas	S/ 7 476,57
Costo de repuestos	S/ 3 7370,02
Costos materiales de oficina	S/ 203,50
Costo de capacitaciones	S/ 1 269,00
Costo de mano de obra	S/ 19 395,00
<b>Total</b>	<b>S/ 68 786,78</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.6 Beneficios monetarios después de la propuesta

Al reducir los tiempos de parada en las máquinas críticas con la propuesta de mantenimiento, se determinó la nueva producción en la Tabla 115, siendo un total de 12 4623 sacos de sal seca de 50 kg.

**Tabla 115. Nueva producción de sal seca de 50 kg**

Mes	Producción actual (sacos de 50 kg)	Reducción de paradas (h)	Producción por hora (sacos de 50kg)	Incremento de producción (sacos de 50 kg)	Nueva producción (sacos de 50 kg)
Enero	9 952	26,68	60	1 601	11 553
Febrero	9 163	26,68	60	1 601	10 763
Marzo	7 936	26,68	60	1 601	9 536
Abril	9 489	26,68	60	1 601	11 090
Mayo	8 390	26,68	60	1 601	9 991
Junio	7 309	26,68	60	1 601	8 910
Julio	8 112	26,68	60	1 601	9 713
Agosto	9 084	26,68	60	1 601	10 685
Septiembre	7 943	26,68	60	1 601	9 543
Octubre	9 073	26,68	60	1 601	10 673
Noviembre	9 856	26,68	60	1 601	11 457
Diciembre	9 110	26,68	60	1 601	10 711
<b>Total</b>	<b>105 416</b>	<b>320,11</b>	<b>60</b>	<b>19 207</b>	<b>124 623</b>

Fuente: Elaboración propia.

**3.2.6.1 Beneficios en utilidades a percibir por reducción de paradas**

En la Tabla 116, se muestran las utilidades percibidas por reducción de paradas después de la propuesta, siendo un total de S/ 100 644,68.

**Tabla 116. Utilidades percibidas por reducción de paradas**

Mes	Producción actual (sacos de 50 kg)	Incremento de producción (sacos de 50 kg)	Nueva producción (sacos de 50 kg)	Utilidad (S/)	Utilidades percibidas (S/)
Enero	9 952	1 601	11 553	5,24	S/ 8 387,06
Febrero	9 163	1 601	10 763	5,24	S/ 8 387,06
Marzo	7 936	1 601	9 536	5,24	S/ 8 387,06
Abril	9 489	1 601	11 090	5,24	S/ 8 387,06
Mayo	8 390	1 601	9 991	5,24	S/ 8 387,06
Junio	7 309	1 601	8 910	5,24	S/ 8 387,06
Julio	8 112	1 601	9 713	5,24	S/ 8 387,06
Agosto	9 084	1 601	10 685	5,24	S/ 8 387,06
Septiembre	7 943	1 601	9 543	5,24	S/ 8 387,06
Octubre	9 073	1 601	10 673	5,24	S/ 8 387,06
Noviembre	9 856	1 601	11 457	5,24	S/ 8 387,06
Diciembre	9 110	1 601	10 711	5,24	S/ 8 387,06
<b>Total</b>	<b>105 416</b>	<b>19 207</b>	<b>124 623</b>	<b>5,24</b>	<b>S/ 100 644,68</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.6.2 Beneficios en utilidades por reducción de productos defectuosos

En la Tabla 117, se muestran las utilidades percibidas por reducción de productos defectuosos después de la propuesta al prevenir las fallas en las etapas de secado y molienda, siendo un total de S/ 100 644,68.

**Tabla 117. Utilidades percibidas por reducción de productos defectuosos**

Mes	Producción defectuosa (sacos de 50 kg)	Utilidad (S/)	Beneficio en reducción de productos defectuosos (S/)
Enero	1 000	S/ 5,24	S/ 5 240,00
Febrero	1 911	S/ 5,24	S/ 10 013,64
Marzo	1 635	S/ 5,24	S/ 8 567,40
Abril	1 790	S/ 5,24	S/ 9 379,60
Mayo	1 512	S/ 5,24	S/ 7 922,88
Junio	1 778	S/ 5,24	S/ 9 316,72
Julio	1 421	S/ 5,24	S/ 7 446,04
Agosto	1 835	S/ 5,24	S/ 9 615,40
Septiembre	1 560	S/ 5,24	S/ 8 174,40
Octubre	1 825	S/ 5,24	S/ 9 563,00
Noviembre	552	S/ 5,24	S/ 2 892,48
Diciembre	589	S/ 5,24	S/ 3 086,36
<b>Total</b>	<b>17 408</b>	<b>5,24</b>	<b>S/ 91 217,92</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.6 Beneficios monetarios totales después de la propuesta

En la Tabla 118, se muestra las utilidades totales respecto a la reducción de paradas y productos defectuosos después de la propuesta, siendo un total de S/ 191 862,60.

**Tabla 118. Utilidades totales después de la propuesta**

Mes	Utilidades por reducción de productos defectuosos (S/)	Utilidades percibidas por reducción de paradas (S/)	Utilidades totales (S)
Enero	S/ 5 240,00	S/ 8 387,06	S/ 13 627,06
Febrero	S/ 10 013,64	S/ 8 387,06	S/ 18 400,70
Marzo	S/ 8 567,40	S/ 8 387,06	S/ 16 954,46
Abril	S/ 9 379,60	S/ 8 387,06	S/ 17 766,66
Mayo	S/ 7 922,88	S/ 8 387,06	S/ 16 309,94
Junio	S/ 9 316,72	S/ 8 387,06	S/ 17 703,78
Julio	S/ 7 446,04	S/ 8 387,06	S/ 15 833,10
Agosto	S/ 9 615,40	S/ 8 387,06	S/ 18 002,46
Septiembre	S/ 8 174,40	S/ 8 387,06	S/ 16 561,46
Octubre	S/ 9 563,00	S/ 8 387,06	S/ 17 950,06
Noviembre	S/ 2 892,48	S/ 8 387,06	S/ 11 279,54
Diciembre	S/ 3 086,36	S/ 8 387,06	S/ 11 473,42
<b>Total</b>	<b>S/ 91 217,92</b>	<b>S/ 100 644,68</b>	<b>S/ 191 862,60</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.7 Flujo de caja económico

Al informar al gerente de la inversión de la propuesta de mantenimiento, afirmó estar dispuesto a invertir con capital propio, por lo tanto, al no existir ningún préstamo a una entidad financiera, solo se realizó el flujo de caja económico.

En el flujo de caja económico se logra determinar la tasa interna de retorno (TIR), para saber si el proyecto es aceptable o no, para esto es necesario determinar la tasa de inflación más actual del 2020, la cual es 2,5% según el Banco Central de Reserva del Perú (BCRP); por otro lado, también se logra determinar el valor actual neto (VAN).

Por lo tanto, la en la Tabla 119, se muestra que la Tasa de Aceptación de Rendimiento Global (TMAR Global) es 10 %, al aplicar las siguientes fórmulas:

- $\% \text{TMAR} = \% \text{Tasa Inflacionaria} + \text{lo que se piensa ganar}$
- $\% \text{TMAR GLOBAL} = \% \text{TMAR} * \% \text{TMAR}$

**Tabla 119. Tasa de Aceptación de Rendimiento Global**

<b>Inversión</b>	<b>Tasa de inflación</b>	<b>Ganancia estimada</b>	<b>TMAR</b>
Inversión Propia	2,5 %	7,5 %	10%
Inversión Financiada	-	-	-
	<b>% de aporte</b>	<b>TMAR</b>	<b>Ponderado</b>
Inversión Propia	100%	10%	0,1
Inversión Financiada	-	-	-
<b>TMAR GLOBAL</b>			<b>10%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 120. Flujo de caja económico por meses después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo

BENEFICIOS	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
Utilidades por ventas	S/ -	S/ 13 627,06	S/ 18 400,70	S/ 16 954, 46	S/ 17 766,66	S/ 16 309,94	S/ 17 703,78	S/ 15 833,10	S/ 18 002,46	S/ 16 561,46	S/ 17 950,06	S/ 11 279,54	S/ 11 473,42
Total ingresos	S/ -	S/ 13 627,06	S/18 400,70	S/ 16 954,46	S/ 17 766,66	S/ 16 309,94	S/ 17 703,78	S/ 15 833,10	S/ 18 002,46	S/ 16 561,46	S/ 17 950,06	S/ 11 279,54	S/11 473,42
Costos													
Costo de capacitación	S/ 1 269,00												
Costo de materiales y repuestos	S/ 40 442,71												
Costo de útiles de oficina	S/ 203,50												
Costo de herramientas	S/ 7 476,57												
Costo de mano de obra		S/ 1 616,25	S/1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25	S/1 616,25
Imprevistos (5%)	S/ 2 022,14												
Total Costos	S/ 51 413,92	S/ 1 616,25	S/1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616, 25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25	S/ 1 616,25
Utilidad Bruta	S/-51 413,92	S/ 12 010,81	S/ 16 784,45	S/ 15 338,21	S/16 150,41	S/ 14 693,69	S/ 16 087,53	S/ 14 216,85	S/ 16 386,21	S/ 14 945,21	S/ 16 333,81	S/ 9 663,29	S/ 9 857,17
Depreciación	S/-373,83	S/ -373,83	S/ - 373,83	S /-373,83	S/ -373,83	S/ -373,83	S/ -373,83	S/ -373,83	S/ -373,83	S/-373,83	S/ -373,83	S/ -373,83	S/ -373,83
Utilidad e Impuestos		S/ 11 636,98	S/16 410,62	S/ 14 964,38	S/ 15 776,58	S/ 14 319,86	S/ 15 713,70	S/ 13 843,02	S/ 16 012,38	S/ 14 571,38	S/ 15 959,98	S/ 9 289,46	S/ 9 483,34
Impuesto 30%		S/ 3 491,09	S/ 4 923,19	S/ 4 489,31	S/ 4 732,97	S/ 4 295,96	S/ 4 714,11	S/ 4 152,91	S/ 4 803,71	S/ 4 371,41	S/ 4 787,99	S/ 2 786,84	S/ 2 845,00
		S/ 373,83	S/ 373,83	S/ 373,83	S/ 373,83	S/ 373,83	S/ 373,83	S/ 373,83	S/ 373,83	S/ 373,83	S/ 373,83	S/ 373,83	S/ 373,83
Utilidad neta	S/ -51 040, 09	S/ 8 519,71	S/11 861,26	S/ 10 848,89	S/ 11 417,43	S/10 397,73	S/ 11 373,42	S/ 10 063,94	S/ 11 582,49	S/ 10 573,79	S/11 545,81	S/ 6 876,45	S/ 7 012,17

B/C	2,71
VAN	S/ 70 521,14
TIR	17,4%

En la Tabla 120, se puede observar que, con la actualización de los flujos económicos, el valor actual neto económico (VAN) de la empresa Gemar Group E. I. R. L. tendrá S/ 70 521,14 más, en dinero de hoy, si invierte en el proyecto; con una Tasa Interna de Retorno económico (TIR) de un 17,4% de rentabilidad promedio mensual, lo cual indica que es mayor al TMAR GLOBAL (10%) significando que el proyecto es aceptable; así también, se muestra un costo beneficio de S/ 2,71 lo que significa que por cada sol invertido tendrá una ganancia de S/ 1,70 y se recuperará la inversión en un periodo de 242 días (8 meses).

### **3.4. Evaluación de impacto**

#### **3.4.1 Ambiental**

En el aspecto ambiental, la propuesta de mantenimiento preventivo ayuda a la reducción del consumo de energía y combustible, al evitar las fallas en las máquinas; también amplía la vida de los repuestos y evita cambios innecesarios ya que estos contribuyen a la contaminación del ambiente por su fabricación.

Por otro lado, se evita vibraciones en las máquinas y ruidos continuos fuera de los límites permisibles que afecten al personal o a los pobladores de alrededor.

#### **3.4.2 Social**

En el aspecto social, al realizar la propuesta de mantenimiento preventivo se incrementan sus ventas y por ende la empresa tiende a tener mayores utilidades para poder brindar mayores puestos de trabajo, es por eso que se optó por contratar un técnico mecánico. (Ver Tabla 112)

#### **3.4.3 Económico**

En el aspecto económico, al realizar la propuesta de mantenimiento preventivo, las paradas de las máquinas de la línea de producción se reducen y por ende aumenta su producción generándole una utilidad de S/ 191 862,60 al año, lo cual es óptimo para la empresa ya que sus utilidades no percibidas disminuyen.

#### **3.4.3 Seguridad**

En el aspecto de seguridad, al realizar la propuesta de mantenimiento preventivo, se evitan accidentes laborales, ya que se reducen las fallas en las máquinas y se evitan que el operario sufra algún accidente.

#### IV CONCLUSIONES

1. La propuesta del plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad logró disminuir sus utilidades no percibidas a S/ 131 724,27, lo que significa que se redujo en 19,01% respecto a sus utilidades totales esperadas.
2. Se diagnosticó que la empresa Gemar Group E. I. R. L trabaja mediante mantenimientos correctivos los cuales en el año 2019 generó un total de 138 fallas año, equivalente a 739,08 horas de parada. Asimismo, los indicadores de mantenimiento fueron un MTTF de 12,73 horas promedio hasta el fallo, un MTTR de 5,36 horas de tiempo promedio fuera de servicio, una disponibilidad global del 70,39% y un rendimiento global de sus máquinas (OEE) de 41,36%, lo que generó a la empresa una utilidad no percibida de S/ 323 584,67.
3. La propuesta se basó en la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), rigiéndose de herramientas como el Análisis de criticidad; el cual permitió saber que el Secador, Molino Refinador, Molino Chancador, Elevador de Cangilones y Tornillo Sin Fin N°2 son las máquinas de criticidad alta y requieren de intervenciones preventivas; otras herramientas son el diagrama de Pareto, el análisis de Weibull, el Árbol de fallos, el AMEF y la Hoja de decisión RCM, las cuales fueron de gran importancia para realizar los planes y cronogramas de mantenimiento. Luego de la propuesta, el tiempo de parada se disminuyó en 320,11 horas, la disponibilidad se aumentó a 83,21 % incrementándose en 12,82% respecto a lo anterior y el rendimiento global de las máquinas (OEE) aumentó a 69,25%.
4. Se realizó el análisis de costo beneficio del cual se obtuvo un VAN de S/ 70 521,14 más, en dinero de lo que se tiene actualmente; un TIR de 17,4% de rentabilidad promedio mensual, un período de recuperación de 8 meses y un indicador de costo beneficio de S/ 2,71; es decir que por cada sol invertido tendrá S/ 1,71 de ganancia, demostrando ser un proyecto muy rentable hacia la empresa.

## **V. RECOMENDACIONES**

Se recomienda a futuras investigaciones realizar un plan detallado de abastecimiento y compras de repuestos, abarcando el tema logístico de la gestión de mantenimiento. Asimismo, la investigación en el diseño e instalación de un software ERP de gestión de mantenimiento.

Como aliento a futuras investigaciones se recomienda realizar la implementación de la metodología TPM o la de Mantenimiento Predictivo.



## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. Sevilla, «Ranking de los principales países de sal a nivel mundial en 2019,» Statista, 11 marzo 2020. [En línea]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/600883/paises-lideres-en-la-produccion-de-sal-a-nivel-mundial/>. [Último acceso: 10 abril 2020].
- [2] L. Saaverdra García, «Generando información: ¿Sabemos cuánto es el consumo promedio de sal y cuáles son sus fuentes?,» *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, vol. 31, n° 1, 2014.
- [3] «Negocio Sales,» QUIMPAC S.A, [En línea]. Available: <http://quimpac.com.pe/quienes.html>. [Último acceso: 10 abril 2020].
- [4] «Las 6 mejores Empresas y Tiendas de Sal en Lambayeque Departamento,» Infoisinfo, 2018. [En línea]. Available: <https://lambayeque-departamento.infoisinfo.com.pe/busqueda/sal>.
- [5] S. Mojicar Caballero, «Fundamentos para la Introducción del RCM para la Industria Azucarera,» *Virtual Pro*, 2013.
- [6] J. A. Maya Velasquez, «Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM,» 2018. [En línea]. Available: <http://bdigital.unal.edu.co/65668/7/98702383.2018.pdf>. [Último acceso: 10 enero 2020].
- [7] R. Vallejo Alemán, «Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la maquinaria de una empresa cafetalera,» Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/49415/VallejoAlemanRicardo.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 10 enero 2020].
- [8] C. R. Vishu y V. Regikumar, «Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study,» *Science Direct*, vol. 1, n° 25, pp. 1080-1087, 2016.
- [9] J. D. M. Villada, «Propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), en la Planta envasadora de garrafón, sucursal Veracruz,» 2019. [En línea]. Available: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/49426/PastranaLopezAriana.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 10 enero 2020].
- [10] E. L. d. Munáin, «La sal : una roca comestible,» *Zpardiell: revista de cultura y gastronomía*, 2018.
- [11] J. A. Medrano Márquez, «Mantenimiento: Técnicas y aplicaciones industriales,» Grupo Editorial Patria, 2017.
- [12] O. García, *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial Principios Fundamentales*, Bogota, Colombia: Ediciones de la U, 2012.
- [13] A. C. Márquez, *The maintenance management framework. Models and methods for complex systems maintenance.*, London: Springer Verlag, 2007, p. 117.
- [14] L. Martínez, *Organización y planificación de sistemas de mantenimiento*, Caracas: Centro de Estudios Gerenciales ISID, 2007.
- [15] E. P. Mangement, «Disponibilidad,» 2002. [En línea]. Available: <https://www.emerson.com/documents/automation/training-bussch-oe-102es-es-41724.pdf>. [Último acceso: 13 abril 2020].
- [16] F. J. González, *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*, Madrid: Fundación Confemetal, 2015.
- [17] O. Duffuaa, A. Raouf y J. Dixon, *Sistemas de mantenimiento planeación y control*, México: Limusa S.A, 2000.

- [18] PEMEX(Petróleos Mexicanos), Guía de aprendizaje: Metodología de Análisis de Criticidad(AC), Tabasco, 2007.
- [19] C. A. Parra Márquez y A. Crespo Márquez, Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos, España: Ingeman, 2012.
- [20] L. A. Mora Guitiérrez, Mantenimiento, planeación, ejecución y control, México: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V., 2009, pp. 107-108.
- [21] A. Cejalvo Lapeña, Tomás Piqué Ardanuy, «NTP 333: Análisis probabilístico de riesgosNTP 333: Análisis probabilístico de riesgos: Metodología delMetodología delNTP 333: Análisis probabilístico de riesgos: Metodología del,» NTP 333: Análisis probabilístico de riesgos: Metodología del "Árbol de fallos y errores", 1999. [En línea]. Available: [https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp\\_333.pdf/10fae1d9-91bb-4a75-bb92-81bd0ad9dcf3](https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_333.pdf/10fae1d9-91bb-4a75-bb92-81bd0ad9dcf3). [Último acceso: 13 abril 2020].
- [22] Automotive Industry Action Group. (AIAG), Manual de análisis de modos y efectos de fallas potenciales, ISBN: 978-1-60534-136-1, 2008.
- [23] E. Berger Vidal et al., «Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en motores de combustión interna de las embarcaciones pesqueras de la serie intrépido de una empresa esquera,» *Revista de la F.C.M.de la Universidad Mayor de San Marcos*, vol. 17, nº 2, pp. 5-18, 2015. [En línea]. Available: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/matema/article/view/12521>
- [24] S. Andriulo, M. Arleo, F. de Carlo, María Gnoni y M. Tucci, «Effectiveness of maintenance approaches for High Reliability Organizations,» *Science Direct*, vol. 48, nº 3, pp. 466-471, 2015. [En línea]. Available: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39066511/Andriulo et al. - 2015 - Effectiveness of maintenance approaches for High R.pdf?1444384043=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAndriulo et al. - 2015 - Effectiveness\\_o.pdf&Expires=1594778686&Signature=gU9S7zpRb-n494bl5pVbTXDE9l~h6Kb0fLLAGsIgz2U514DpBMLMqKrVUArjpvB2H1cYdwkSwdHpreWQQhPa22Vh9FyIZbtvE3FBR7vTHBbjLx89~wPoY8WT5Ui3re1eWrV4D0Bi24SJTw1mk4J3yR7t4dlOnQg4AdMqV7libvHM0onx--d-I1tlb0Cn0UVY4TANSyC6fbK6krGcmxK1dJt2hkBK9OQrRdQS7ob6HvdIR3bkziRhJI](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39066511/Andriulo_et_al._-2015-Effectiveness_of_maintenance_approaches_for_High_R.pdf?1444384043=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAndriulo_et_al._-2015-Effectiveness_o.pdf&Expires=1594778686&Signature=gU9S7zpRb-n494bl5pVbTXDE9l~h6Kb0fLLAGsIgz2U514DpBMLMqKrVUArjpvB2H1cYdwkSwdHpreWQQhPa22Vh9FyIZbtvE3FBR7vTHBbjLx89~wPoY8WT5Ui3re1eWrV4D0Bi24SJTw1mk4J3yR7t4dlOnQg4AdMqV7libvHM0onx--d-I1tlb0Cn0UVY4TANSyC6fbK6krGcmxK1dJt2hkBK9OQrRdQS7ob6HvdIR3bkziRhJI)

## VII. ANEXOS

## Anexo 1. Registro del historial de fallas del año 2019

Motivo de falla	Costo total (S/)	Máquina/equipo	Tiempo de parada (h)
Cambio de estructura (carcasa)	S/ 2 500,00	Secador	5
Falta de lubricación de rodamientos	S/ 20,00	Sin fin 2	1
Rotura de faja	S/ 350,00	Elevador cangilones	8
Cambio de martillos	S/ 1 132,70	Molino refinador	8
Falta de lubricación de rodamientos		Molino refinador	1
Rotura de mallas	S/ 600,00	Tamizadora	6
Fuerza excesiva de engranajes	S/ 3 500,00	Secador	8
Flejes desgastados	S/ 50,00	Mesa alimentadora	5,13
Atasco de material		Sin fin 1	8
Rotura de fajas de transmisión	S/ 70,64	Molino chancador	1
Desgaste de martillos		Molino chancador	5
Cambio de aceite de motor	S/ 100,00	Sin fin 2	3
Guías desgastadas	S/ 1 000,00	Secador	4
Motor sobrecalentado	S/ 3 500,00	Molino chancador	5
Soldadura de aspas	S/ 75,00	Sin fin 2	6
Soldadura en estructura	S/ 989,00	Secador	4
Cangilones sueltos	S/ 2 520,00	Elevador cangilones	8
Desgaste de cribas	S/ 200,00	Molino refinador	8
Desalineamiento de piñones		Enfriador	3,29
Desalineamiento de piñones		Secador	6
Motor quemado	S/ 520,00	Sin fin 3	8
Cambio de ejes	S/ 200,00	Mesa alimentadora	2
Rotura de fajas de transmisión		Sin fin 2	3
Rotura de fajas de transmisión		Elevador cangilones	2
Rotura de eje	S/ 1 060,84	Sin fin 2	8
Rotura de fajas de transmisión	S/ 70,64	Molino refinador	5,4
Motor dañado	S/ 520,00	Tamizadora	8
Rotura de paletas de ventilador de calderas	S/ 300,00	Secador	5
Motor se quemó	S/ 400,00	Elevador cangilones	6
Rotura de cribas	S/ 200,00	Molino chancador	7,34

Falta de lubricación de los rodamientos	S/	20,00	Secador	5
Desalineamiento de piñones	S/	265,00	Secador	4
Polines desalineados			Enfriador	6
Motor dañado	S/	500,00	Sin fin 1	5
Falta de lubricación de rodamientos	S/	20,00	Sn fin 2	1
Vibración excesiva	S/	100,00	Tamizadora	3
Soldadura en estructura	S/	700,00	Secador	4
Desgaste de discos	S/	600,00	Molino chancador	7
Motor sobrecalentado	S/	2 000,00	Enfriador	5
Desgate de poleas	S/	310,00	Molino refinador	4
Desgaste de poleas	S/	120,00	Elevador cangilones	8
Desalineamiento de piñones			Secador	4
Rotura de cribas	S/	200,00	Molino chancador	4,4
Discos desgastados	S/	600,00	Molino refinador	4,45
Desgaste de polines	S/	1 450,00	Enfriador	5
Rotura de mallas	S/	400,00	Tamizadora	8
Desgaste de chumaceras	S/	30,00	Tamizadora	5
Motor quemado	S/	300,00	Mesa impulsadora de secador	8
Falta de lubricación en chumaceras	S/	20,00	Elevador cangilones	6
Chumaceras desgastadas	S/	211,42	Sin fin 3	6,16
Falta de lubricación de los rodamientos	S/	20,00	Secador	4
Ruptura de fajas de transmisión	S/	52,98	Molino chancador	8
Rotura de fajas	S/	24,00	Mesa alimentadora	5
Martillos desgastados			Molino refinador	8
Rotura de faja de transmisión de motor	S/	34,00	Tamizadora	5
Polines desgastados	S/	1 450,00	Secador	8
Atasco de material			Molino chancador	8
Rotura de fajas de transmisión de motor	S/	34,00	Enfriador	8
Desgaste de chumaceras	S/	60,00	Mesa impulsadora de secador	6
Cambio de martillos	S/	1 132,70	Molino chancador	7
Rotura de fajas de transmisión	S/	28,00	Sin fin 2	5
Rebobinado de motor	S/	512,00	Secador	6
Rotura de faja de transmisión	S/	34,00	Elevador cangilones	5
Rotura de faja de transmisión			Molino refinador	3
Falta de lubricación	S/	20,00	Molino refinador	6
Soldadura de aspa	S/	75,00	Sin fin 3	8
Falta de calibración	S/	100,00	Balanzas	5
Desalineamiento de piñones			Secador	5
Cambio de estructura (carcasa)	S/	2 500,00	Secador	6,19
Cambio de cosedora	S/	430,00	Cosedora	3
Rotura de fajas de transmisión	S/	28,00	Sin fin 3	5
Atasco de material			Sin fin 2	6,2

Desgaste de poleas	S/	260,00	Molino chancador	6,6
				8
Cambio de engranaje	S/	3 000,00	Secador	8
				8
Rotura de flejes	S/	50,00	Mesa impulsadora de secador	5
Discos desgastados	S/	600,00	Molino refinador	7
Polines desalineados			Enfriador	8
Desgaste de chumaceras	S/	211,42	Sin fin 2	8
Chumaceras desgastadas	S/	211,42	Sin fin 3	4,30
Falta de lubricación de rodamientos	S/	20,00	Molino refinador	1,00
Soldadura de aspas	S/	75,00	Sin fin 2	8
Rotura de faja de transmisión	S/	34,00	Elevador cangilones	6
Chumaceras desgastadas	S/	376,00	Molino chancador	8
Soldadura en estructura	S/	101,68	Secador	4,2
Atasco de material			Sin fin 2	4
Desgaste de polines	S/	500,00	Enfriador	5,1
Soldadura de aspa	S/	75,00	Sin fin 1	4
Cambio de aceite de motor	S/	200,00	Sin fin 2	5
Poleas desgastadas	S/	140,00	Sin fin 2	7
Guías desgastadas	S/	1 000,00	Secador	6
Fajas de transmisión	S/	70,64	Molino refinador	3
Cangilones sueltos			Elevador cangilones	8
Rotura de fajas de transmisión			Sin fin 2	2
Falta de lubricación en chumaceras	S/	20,00	Elevador cangilones	4,32
Desgaste de martillos			Molino chancador	5
Desgaste de cribas	S/	200,00	Molino refinador	5,3
Falta de lubricación de los rodamientos	S/	20,00	Secador	5
Ruptura de fajas de transmisión	S/	52,98	Molino chancador	1
Discos desgastados	S/	600,00	Molino chancador	8
Desgaste de poleas	S/	140,00	Molino refinador	3
Desgaste de poleas	S/	120,00	Elevador cangilones	6
Discos desgastados	S/	600,00	Molino refinador	8
Rotura de paletas de ventilador de calderas	S/	600,00	Secador	5
Atasco de material			Sin fin 2	6
Motor recalentado			Cosedora	2
Soldadura en estructura	S/	101,68	Secador	4
Martillos desgastados	S/	1 132,70	Molino refinador	8
Atasco de material			Sin fin 2	8
Cambio de aceite de motor	S/	200,00	Sin fin 3	5,19
Desgaste de fajas de transmisión de motor	S/	28,00	Sin fin 1	4,3
Rotura de faja de transmisión	S/	87,00	Elevador cangilones	8
Rebobinado de motor	S/	512,00	Secador	3
Corte de electricidad	S/	180,00	Cosedora	2

Rotura de fajas de transmisión de motor	S/	28,00	Enfriador	8
Pieza desoldada	S/	75,00	Molino canchador	4,3
Rotura de fajas de transmisión	S/	28,00	Mesa impulsadora de secador	5,3
Desgaste de chumaceras	S/	211,42	Sin fin 1	5,3
Falta de lubricación de los rodamientos	S/	20,00	Secador	3
Desgaste de poleas	S/	260,00	Molino chancador	6,14
Desalineamiento de piñones			Secador	4
Cambio de estructura (carcasa)	S/	2,500,00	Secador	5
Cangilones sueltos			Elevador cangilones	7
Rotura de faja	S/	350,00	Elevador cangilones	8
Desgaste de polines	S/	1,450,00	Secador	4
Desgaste de martillos	S/	1,132,70	Molino refinador	4
Falta de lubricación en chumaceras	S/	20,00	Elevador cangilones	2
Guías desgastadas	S/	1,000,00	Enfriador	3
Rotura de fajas de transmisión			Molino chancador	2
Falta de lubricación de rodamientos	S/	20,00	Sin fin 2	2
Atasco de material			Sin fin 2	5
Rebobinado de motor	S/	512,00	Secador	4
Rotura de fajas de transmisión	S/	70,64	Molino refinador	3
Cangilones sueltos	S/	100,00	Elevador cangilones	6,17
Desgaste de martillos	S/	1,132,70	Molino chancador	5
Discos desgastados	S/	600,00	Molino refinador	7
Rotura de fajas de transmisión			Sin fin 2	2
Guías desgastadas	S/	1 000,00	Secador	5
Pieza desoldada	S/	75,00	Molino chancador	2

Fuente: Gemar Group E. I. R. L., 2019.

## Anexo 2. Selección de la metodología adecuada usando la matriz de decisión por factores ponderados

Se utilizará la matriz de enfrentamiento de factores con respecto a las causas de los problemas encontrados en la empresa, el cual permite la importancia de cada factor con respecto al otro, para ello se asignará el valor de 1 a aquel factor más importante que el otro o cuando ambos tienen una importancia equivalente, y el valor de 0 para aquel factor menos importante del que se compara.

Cómo se especificó anteriormente en el diagrama de Ishikawa (Ver Figura 20), las causas a evaluar son:

- A) Constantes paradas y fallas en las máquinas
- B) Baja disponibilidad
- C) Bajo tiempo promedio operativo hasta el fallo (MTTF)
- D) Elevado tiempo promedio de reparación (MTTR)
- E) Falta de capacitación al personal técnico-profesional
- F) Mala organización de funciones laborales
- G) Baja eficiencia del rendimiento global de sus máquinas (OEE)
- H) Falta de procedimientos de mantenimiento
- I) Falta de Check List
- J) Utilidades no percibidas

Según la matriz de enfrentamiento realizada a continuación, el factor con mayor importancia son las utilidades no percibidas con un 20%, mientras que el de menor importancia es el factor de mala organización de funciones laborales con un 4%.

**Matriz de enfrentamiento**

Factores	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Conteo	Ponderación
A		1	1	1	0	1	1	1	0	0	6	13%
B	1		1	1	1	0	0	1	0	0	5	11%
C	1	1		1	1	0	0	1	0	0	5	11%
D	1	0	0		1	0	0	1	0	0	3	7%
E	0	0	0	1		1	0	1	0	0	3	7%
F	0	0	0	0	1		0	1	0	0	2	4%
G	1	1	0	0	1	1		1	0	0	5	11%
H	1	0	0	0	1	1			1	0	4	9%
I	0	0	0	0	1	1	0	1		0	3	7%
J	1	1	1	1	1	1	1	1	1		9	20%
<b>Total</b>											<b>45</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, en la siguiente tabla según Maya [6] y Andriulo [24], se evaluó cada herramienta propuesta con respecto a las soluciones que brindan y que tengan relación con las causas identificadas. Además, se determinó las calificaciones del 0 al 4, donde el valor de 4 es excelente para que el factor se lleve a cabo con la herramienta de solución propuesta, 3 es muy bueno para realizarse con esa herramienta propuesta pero con faltas mínimas, 2 es bueno pero existen otras herramientas de solución con las mismas propuestas para dicho factor, 1 es regular cuando existen herramientas de solución con mejores propuestas y 0 es nula la relación del factor con respecto a la herramienta de solución propuesta.

### Herramientas propuestas para la solución de problemas

Herramientas		Cumple con la investigación	
		Sí	No
<b>Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)</b>	Menor tiempo muerto en las máquinas y equipos	X	
	Mayor disponibilidad técnica	X	
	Mayor tiempo promedio operativo hasta el fallo (MTTF)	X	
	Menor tiempo promedio para reparar (MTTR)	X	
	Reducción significativa del desperdicio por efecto de fallas en la máquina	X	
	Se reducen los tiempos extras tanto del personal técnico como del productivo	X	
	Mayor motivación de todo el personal que participa en la implementación	X	
	Se incrementa el conocimiento técnico de los activos críticos de la planta	X	
	Se detecta dónde hace falta capacitación	X	
<b>Mantenimiento Productivo Total (TPM)</b>	Se reducen los costos en refacciones y en mano de obra	X	
	Mejora de condiciones ambientales	X	
	Cultura de prevención	X	
	Identificación de problemas potenciales	X	
	Calidad en las relaciones interdepartamentales		X
	Mayor control de las operaciones		X
	Cultura responsabilidad, disciplina y aceptación de las normas		X
	Favorece la comunicación	X	
	Eliminación de paradas y pérdidas	X	
<b>Organización Integral del Mantenimiento (OIM)</b>	Mejora de la calidad	X	
	Mayor confiabilidad de operación	X	
	Incremento en la disponibilidad de planta	X	
	Mayor seguridad	X	
	Mejor protección del medio ambiente	X	
	Mayor calidad de producto	X	
	Mejoras en el servicio al cliente		X
	Mejor costo eficacia		X
	Mayor conservación del valor patrimonial del activos físicos	X	

Fuente: Elaboración propia. En base a Maya, 2018 y Andriulo, 2015.



Por último, se utilizó la matriz de decisión por factores ponderados, donde la puntuación total se obtuvo de la suma de las puntuaciones determinadas por la multiplicación de cada calificación correspondiente a cada herramienta con la ponderación de cada factor, determinando así, que la mejor herramienta a utilizar es el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) debido a que es la metodología que tuvo el mayor puntaje, por ser la que más se asemeja a dar solución a las causas de los problemas encontrados en la empresa.

### Matriz de decisión por factores ponderados

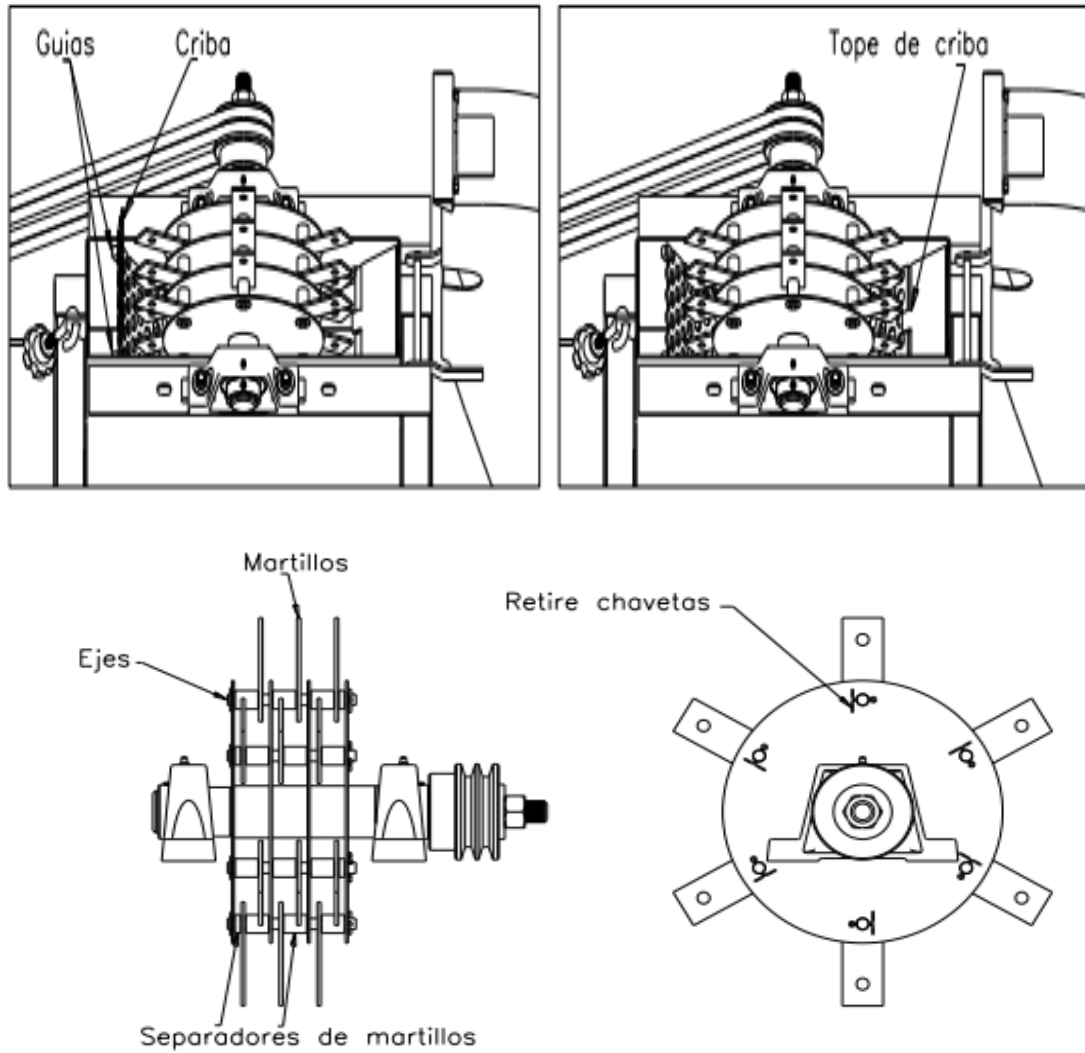
Factores	Ponderación	Herramientas					
		RCM		TPM		OIM	
		Calif.	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.	Punt.
Constantes paradas y fallas	13%	4	0,52	3	0,39	2	0,26
Baja disponibilidad	11%	4	0,44	2	0,22	2	0,22
Bajo tiempo promedio operativo hasta el fallo (MTTF)	11%	4	0,44	2	0,22	2	0,22
Elevado tiempo promedio de reparación (MTTR)	7%	4	0,28	2	0,14	2	0,14
Falta de capacitación al personal técnico-profesional	7%	4	0,28	2	0,14	1	0,07
Mala organización de funciones laborales	4%	4	0,16	3	0,12	1	0,04
Baja eficiencia del rendimiento global de sus máquinas (OEE)	11%	0	0	4	0,44	2	0,22
Falta de procedimientos de mantenimiento	9%	4	0,36	1	0,09	1	0,09
Falta de Check List	7%	4	0,28	1	0,07	0	0
Utilidades no percibidas	20%	4	0,8	3	0,6	3	0,6
<b>Total</b>	<b>100%</b>		<b>3,56</b>		<b>2,43</b>		<b>1,86</b>

Fuente: Elaboración propia.

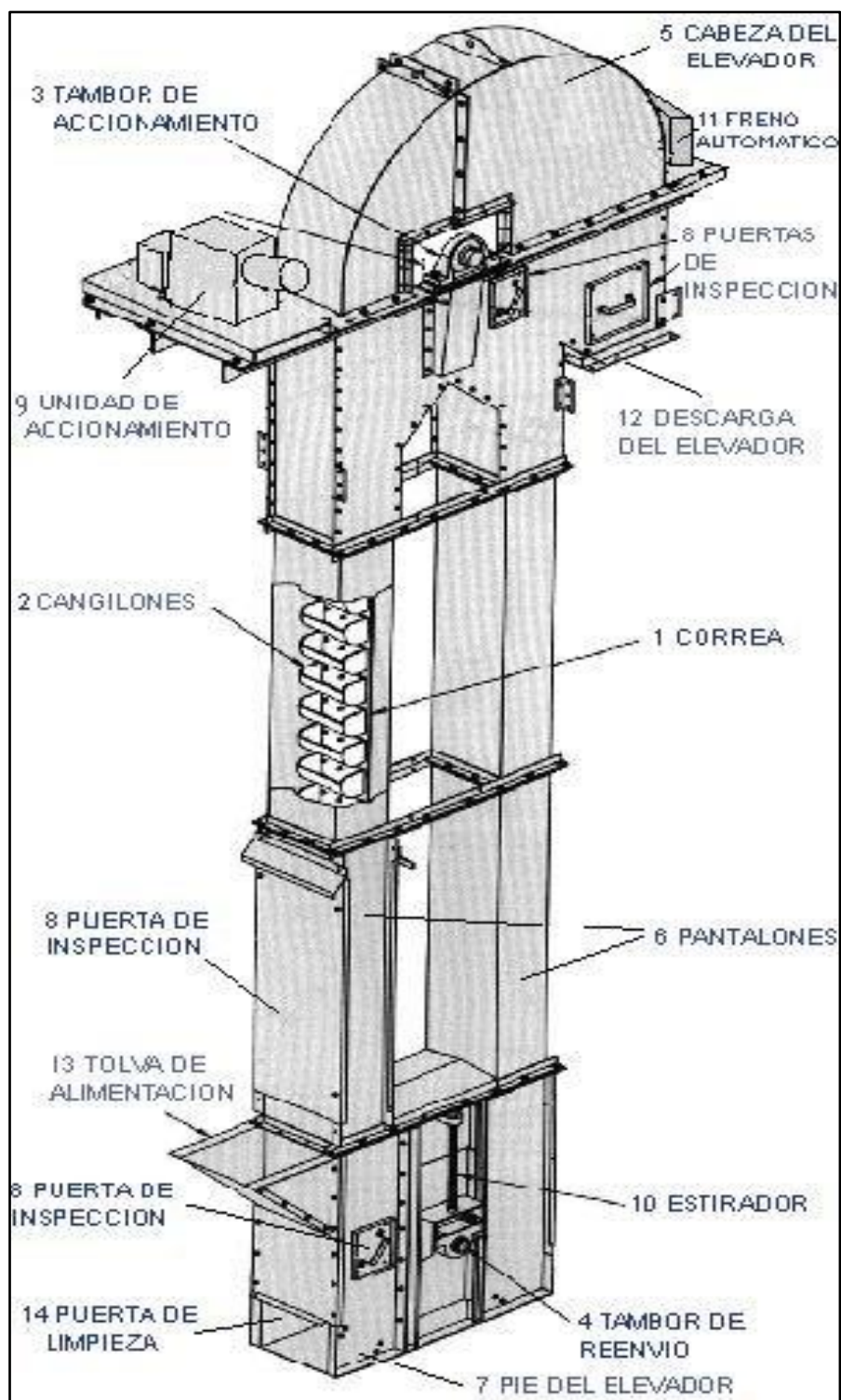
### Anexo 3: Check List de operarios

<b>Nombre Check List:</b> <b>Nombre operador</b> <b>Turno:</b> <b>Fecha:</b>								
	Máquina	Código	X	Estado de la máquina	En marcha/parada	Tiempo de inspección (h)	Categorías	Genera avisos
1	<b>Secador</b>	SEC						Observaciones
	Realizar limpieza interna y externa, libre de polvo u otras partículas			SI NO	Parada	0,5 h	Táctil	
2	<b>Molino Refinador</b>	MOR						Observaciones
	Realizar limpieza interna y externa, libre de acumulación de material u otras partículas			SI NO	Parada	0,5 h	Táctil	
3	<b>Molino Chancador</b>	MOC						Observaciones
	Realizar limpieza interna y externa, libre de acumulación de material u otras partículas			SI NO	Parada	0,5 h	Táctil	
4	<b>Elevador de Cangilones</b>	ELV						Observaciones
	Realizar limpieza interna y externa, libre de acumulación de material u otras partículas			SI NO	Parada	0,5 h	Táctil	
5	<b>Tornillo Sin Fin N°2</b>	SF2						Observaciones
	Realizar limpieza interna y externa, libre de acumulación de material u otras partículas			SI NO	Parada	0,5 h	Táctil	

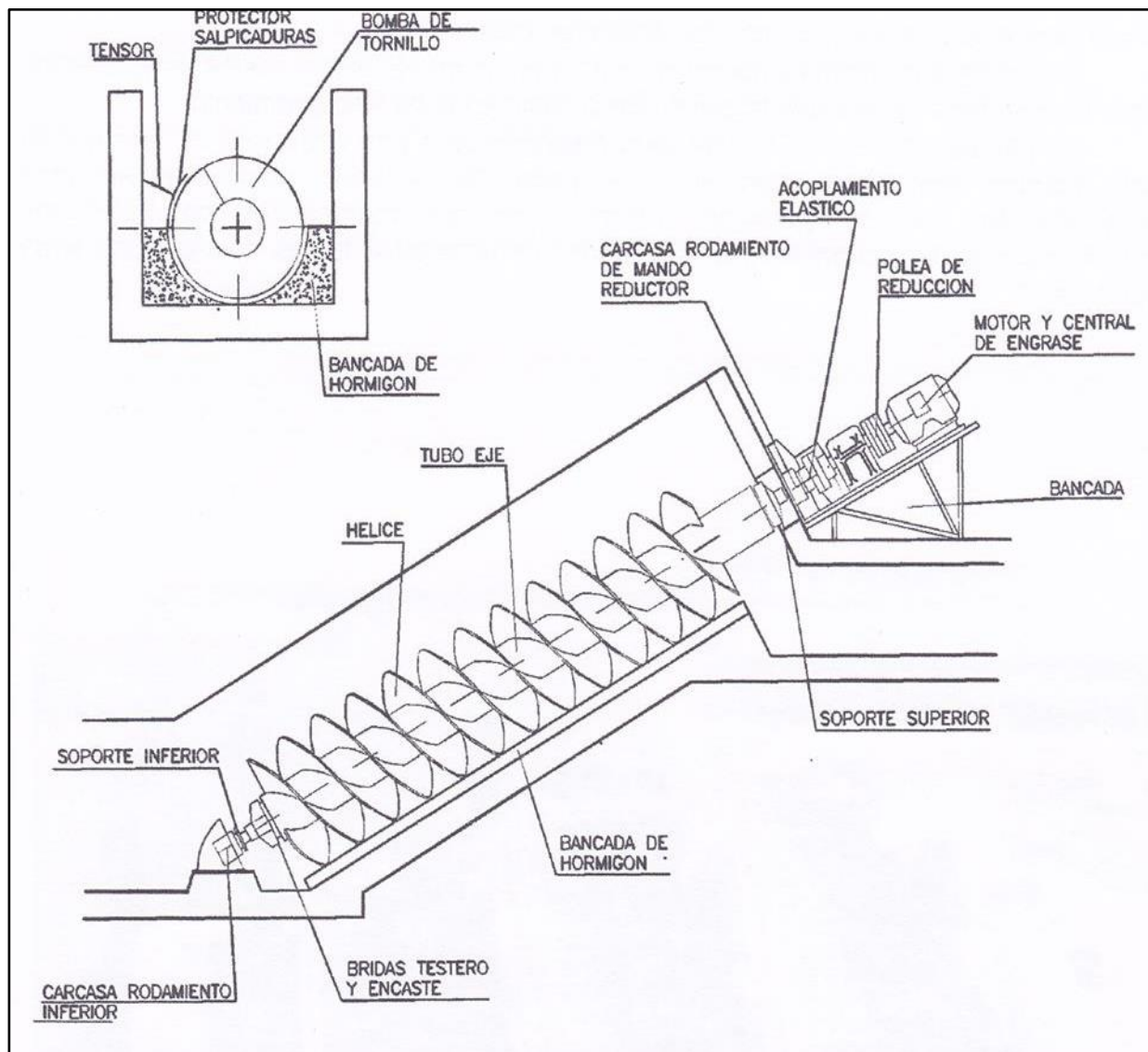
Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 4: Referencia de Molino Chancador y Refinador**

### Anexo 5: Referencia de Elevador de Cangilones




### Anexo 6: Referencia de Tornillo Sin Fin N°2



### Anexo 7. Referencia de alineador de poleas SKF 10



## **Anexo 8: Manual de mantenimiento preventivo**

	MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
	GEMAR GROUP E. I. R. L.	
	CÓDIGO: PMP	
	VERSIÓN: 1	
	FECHA: 01-01-21	PÁGINA: 1 DE 5

# MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

---


ELABORADO POR  
KAROLL GUEVARA  
MONDRAGÓN

---

REVISADO POR EL  
SUPERVISOR DE  
MANTENIMIENTO

---

APROBADO POR EL  
GERENTE GENERAL

	MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO	
	PREVENTIVO	
	GEMAR GROUP E. I. R. L.	
	CÓDIGO: PMP	
	VERSIÓN: 1	
	FECHA: 01-01-21	PÁGINA: 2 DE 5

## 1. OBJETIVO.

Contar con la metodología de trabajo que permita planificar, informar y controlar las actividades de mantenimiento preventivo; para optimizar el cumplimiento de la producción programada, mejorar los indicadores de mantenimiento e incrementar la vida útil de las máquinas.

## 2. ALCANCE

A todas las máquinas operativas del proceso productivo en la empresa Gemar Group, desde la planificación hasta la ejecución de la orden de trabajo con la entrega de equipos operativos.

## 3. Terminología

Mantenimiento, reparación e inspección

## 4. Actividades para extender la vida útil las máquinas

### 4.1 Inspección

Se realiza la revisión de las máquinas antes de entrar en funcionamiento para asegurar su operatividad, mediante la identificación de componentes que pueden causar fallas. A través de la inspección: visual, auditiva, olfativa y sensorial.

### 4.2 Limpieza

Es la tarea más sencilla, económica y muy efectiva, para la cual se debe: determinar que máquina necesita limpieza y frecuencia en la que va a realizar la actividad.


### 4.3 Alineación

Tarea que requiere de una aprobación sobre cuál es la alineación correcta de componentes para las máquinas del proceso, se debe documentar y verificar su cumplimiento.

### 4.4 Lubricación

Es una tarea sencilla, económica y muy efectiva, para la cual se debe: determinar la máquina que se va a lubricar, el tipo de lubricante a usar y la frecuencia con la que se va a realizar.



	MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO	
	PREVENTIVO	
	GEMAR GROUP E. I. R. L.	
	CÓDIGO: PMP	
	VERSIÓN: 1	
	FECHA: 01-01-21	PÁGINA: 3 DE 5

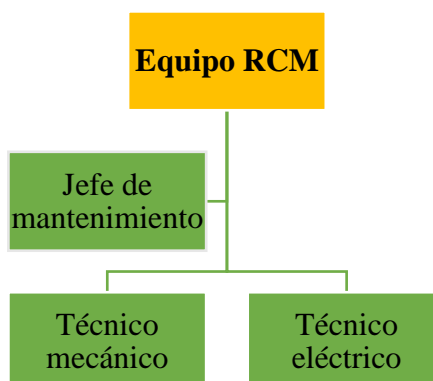
#### 4.5 Reparación

Tarea que comprende restaurar o cambiar componentes y/o materiales con daños e inmediatamente comprobar el funcionamiento de la máquina, de no funcionar correctamente se debe reparar nuevamente hasta que la maquina funcione adecuadamente.

#### 5. ÁREAS RELACIONADAS CON EL ÁREA DE MANTENIMIENTO

- Gerencia:** para definir la organización y los objetivos.
- Producción:** para coordinar la producción programada.
- Almacén:** Para el reaprovisionamiento de repuestos y materiales de mantenimiento
- Contabilidad:** para planificar los costos requeridos por mantenimiento.

#### 6. ORGANIGRAMA PARA EL ÁREA DE MANTENIMIENTO



#### 7. PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO


##### 7.1 Descripción de actividades

##### a) Equipo RCM (Jefe y técnicos de mantenimiento)

- Elabora el plan anual de mantenimiento
- Genera órdenes de trabajo
- Registra documentación

##### a) Jefe de mantenimiento

- Revisa plan anual de mantenimiento preventivo

	MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO	
	PREVENTIVO	
	GEMAR GROUP E. I. R. L.	
	CÓDIGO: PMP	
	VERSIÓN: 1	
	FECHA: 01-01-21	PÁGINA: 4 DE 5

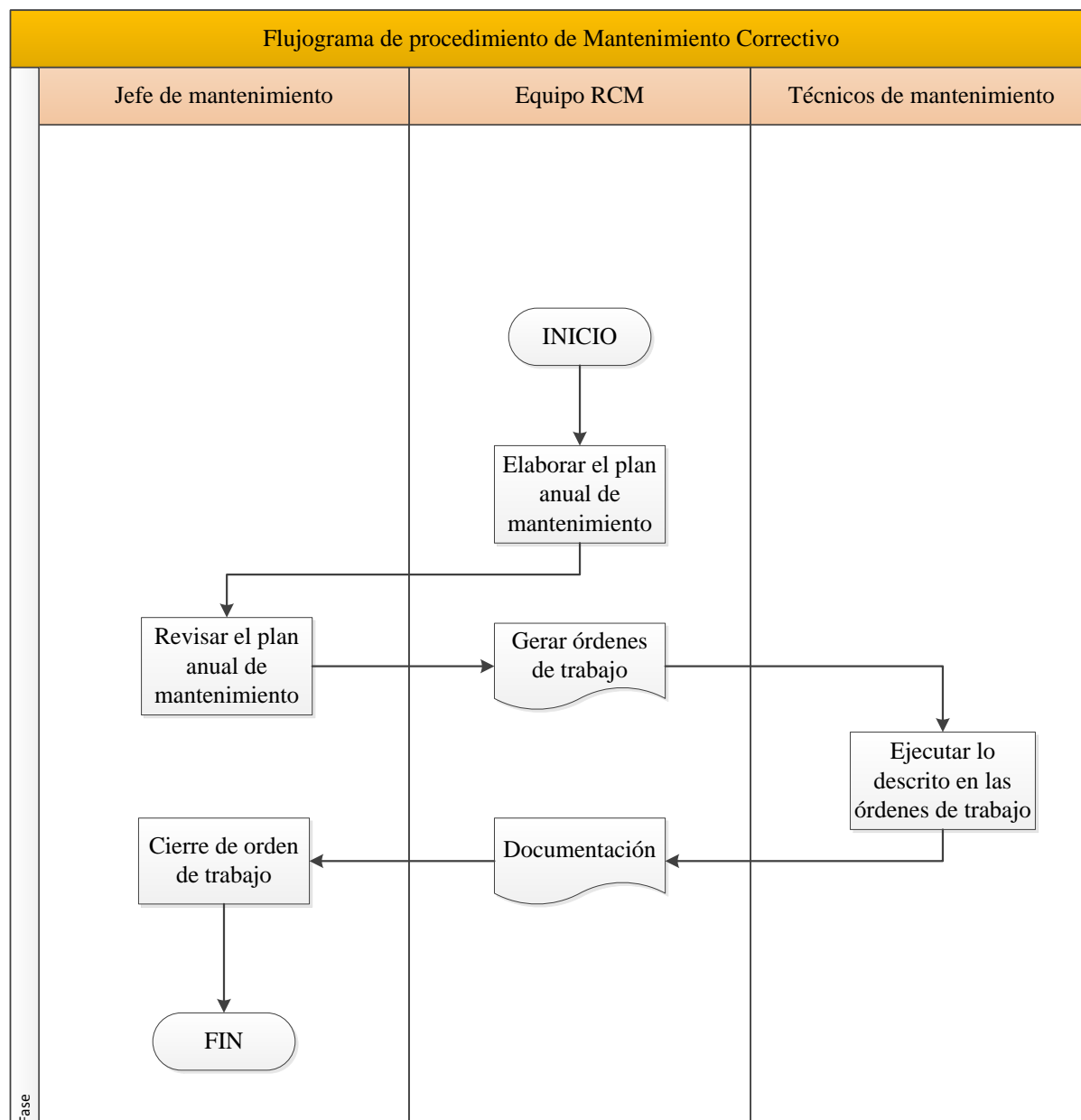
- Firmar orden de trabajo dando por aceptando que la máquina se encuentra en condiciones óptimas para operar


#### b) Técnicos de mantenimiento

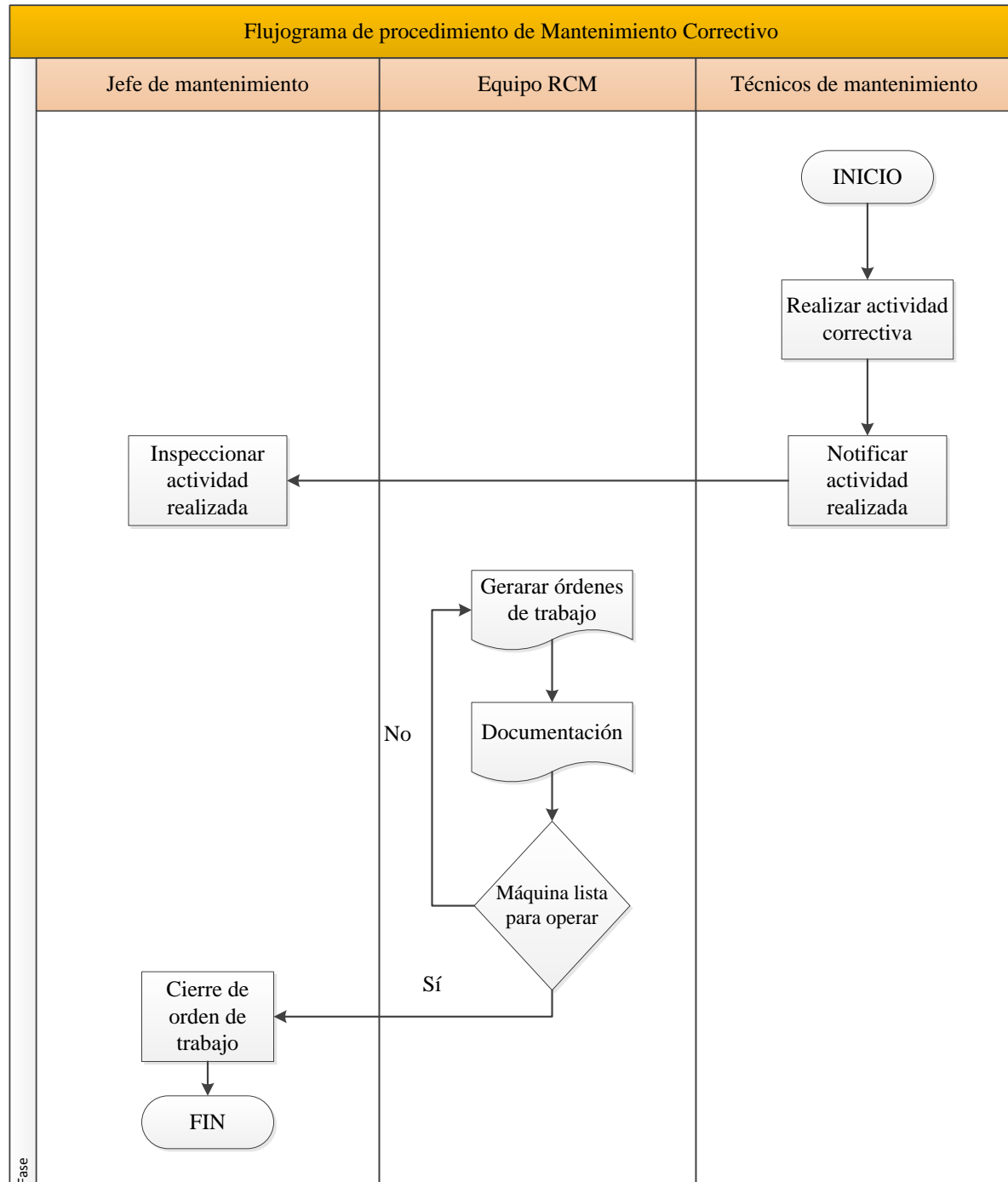
- Ejecuta lo descrito en las órdenes de trabajo

### 7.2 Diagrama de flujo de actividades

**7.3 Documentos:** orden de trabajo, solicitud de repuestos e informes de mantenimiento.



	MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO	
	PREVENTIVO	
	GEMAR GROUP E. I. R. L.	
	CÓDIGO: PMP	
	VERSIÓN: 1	
	FECHA: 01-01-21	PÁGINA: 5 DE 5



**Anexo 9. Carta de Autorización****CARTA DE AUTORIZACIÓN**

Morropo, 06 de Septiembre del 2018.

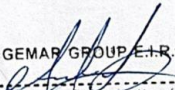
**Escuela de Ingeniería Industrial  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**

**Presente.-**

Tengo el agrado de dirigirme a Usted, en nombre de la empresa **GEMAR GROUP E.I.R.L.**, con la finalidad de hacer de su conocimiento que la Srta. **Karoll Anabell Guevara Mondragón**, estudiante de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, ha sido admitida para el desarrollo de su proyecto de investigación, el cual puede hacer uso de nuestra información necesaria, confiando plenamente que será de uso exclusivo para el desarrollo de su investigación y salvaguardar la confidencialidad de la misma.

Aprovecho la oportunidad para expresarle mi consideración y estima personal.

Atentamente.

GEMAR GROUP E.I.R.L.  
  
-----  
María A. Delgado Ramírez  
GERENTE GENERAL

-----  
**María Alejandrina Delgado Ramírez  
GERENTE GENERAL  
GEMAR GROUP E.I.R.L**